

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

Е. Л. Савич
П. В. Иванис

УСТРОЙСТВО ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Пособие

для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая
эксплуатация автомобилей» (по направлениям)
и 1-37 01 07 «Автосервис»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области транспорта
и транспортной деятельности*

Минск
БНТУ
2019

УДК 629.331(076.5)

ББК 39.33я7

C13

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра «Технологии и организация технического сервиса» Белорусского государственного аграрного технического университета;
кандидат технических наук, доцент, ученый секретарь
БелНИИТ «Транстехника» *С. Б. Соболевский*

Савич, Е. Л.

C13 Устройство легковых автомобилей : пособие для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей (по направлениям)» и 1-37 01 07 «Автосервис» / Е. Л. Савич, П. В. Иванис. – Минск: БНТУ, 2019. – 71 с.

ISBN 978-985-550-800-8.

В пособии изложены методические указания к лабораторным работам по конструкции и принципу действия кривошипно-шатунных и газораспределительных механизмов двигателей легковых автомобилей, систем впрыска бензиновых двигателей, систем питания дизельных двигателей современных легковых автомобилей с ТНВД распределительного типа, систем питания дизельных двигателей современных автомобилей с аккумуляторными топливными системами с электронным управлением «Common Rail».

Предназначено для студентов высших учебных заведений.

УДК 629.331(076.5)

ББК 39.33я7

ISBN 978-985-550-800-8

© Савич Е. Л., Иванис П. В., 2019

© Белорусский национальный
технический университет, 2019

1. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ, ОБОРУДОВАННОГО СИСТЕМОЙ ПИТАНИЯ С НАСОС-ФОРСУНКАМИ

Цель работы: изучить общее устройство дизельного двигателя легкового автомобиля R5 TDI Volkswagen рабочим объемом 2,5 л с насос-форсунками, отдельных агрегатов двигателя и принцип их действия.

Оборудование: дизельный двигатель легкового автомобиля с насос-форсунками R5 TDI Volkswagen рабочим объемом 2,5 л; набор инструмента.

1.1. Устройство двигателя R5 TDI Volkswagen рабочим объемом 2,5 л

Общие положения

Двигатель R5 TDI рабочим объемом 2,5 л Volkswagen предназначен для установки на автомобили Transporter и Tuareg.

Особенности механизмов и систем двигателя:

блок цилиндров с плазменным напылением рабочих поверхностей; шестеренный привод ГРМ (распределительного вала и вспомогательных агрегатов);

головка цилиндра с выведенными на разные стороны впускными и выпускными каналами;

коленчатый вал со встроенным гасителем крутильных колебаний;

упругие муфты в приводе генератора и компрессора кондиционера;

система рециркуляции отработавших газов.

1.2. Особенности конструкции

Рабочие поверхности *цилиндров* двигателя R5 TDI рабочим объемом 2,5 л имеют покрытие, наносимое плазменным напылением [2] (рис. 1).

Напыляемый на стенки цилиндра порошок подается через плазматрон 2. Это способ изготовления цилиндров исключает применение вставных или залитых в алюминиевый блок гильз цилиндров.

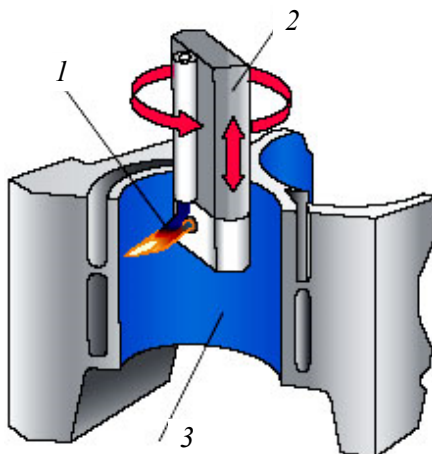


Рис. 1. Схема нанесения покрытия на стенки цилиндра плазматроном:
1 – струя плазмы с напыляемым порошком; 2 – плазматрон;
3 – рабочая поверхность цилиндра

Преимуществами данного способа изготовления цилиндров по сравнению с обычными являются:

- снижение массы по сравнению с конструкцией с вставными гильзами цилиндров;

- уменьшение размеров двигателя по сравнению с чугунным блоком цилиндров за счет сужения перемычек между цилиндрами;

- увеличение срока службы цилиндров благодаря износостойкому покрытию, наносимому плазменным напылением.

Чтобы снизить деформации цилиндров и обеспечить сохранение оптимальной формы их рабочих поверхностей, головка цилиндров двигателя притягивается к блоку с помощью анкерных болтов (рис. 2). Соединение анкерных болтов производится посредством плавающих втулок, расположенных в блоке цилиндров и фиксируемых от проворачивания в нем. Болт крепления головки цилиндров вворачивается в плавающую втулку с одной стороны, а нижний анкерный болт вворачивается в нее с другой стороны [2].

Головка цилиндров имеет поперечное расположение впускных и выпускных каналов с выводом их на противоположные стороны двигателя (рис. 3). Такое расположение каналов способствует газообмену и обеспечивает оптимальное наполнение цилиндров.

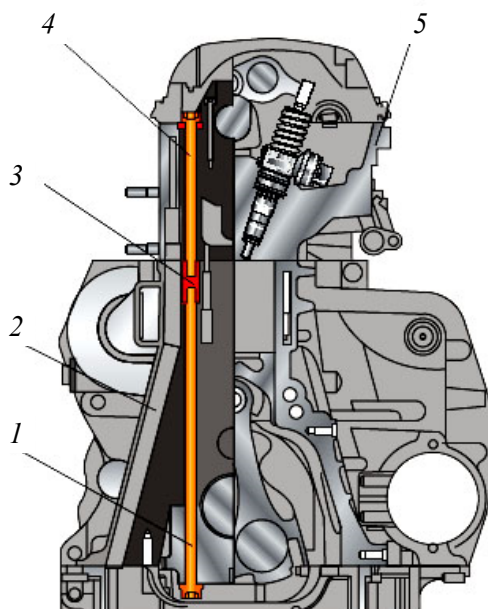


Рис. 2. Крепление головки блока анкерными болтами:
 1 – анкерный болт; 2 – блок цилиндров; 3 – плавающая втулка;
 4 – болт крепления головки цилиндров; 5 – головка цилиндров

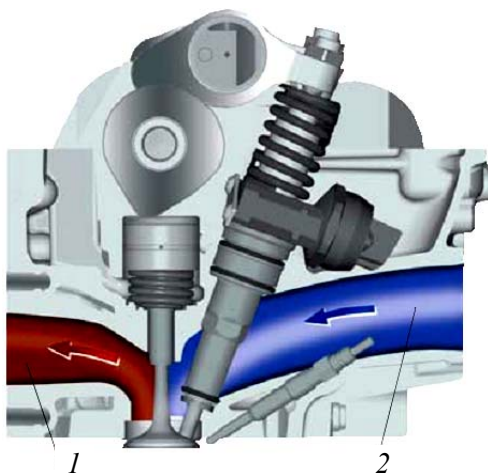


Рис. 3. Расположение впускных и выпускных каналов

На *коленчатом валу* закреплены гаситель крутильных колебаний и задающий диск датчика частоты вращения коленчатого вала (рис. 4). Чтобы укоротить коленчатый вал, гаситель крутильных колебаний был установлен в пределах его рабочей части. Он закреплен четырьмя болтами на месте первого (со стороны маховика) противовеса коленчатого вала. Обработка задающего диска датчика частоты вращения производится в сборе с коленчатым валом. Отсутствие влияния монтажных допусков повышает точность подачи вырабатываемых датчиком сигналов.

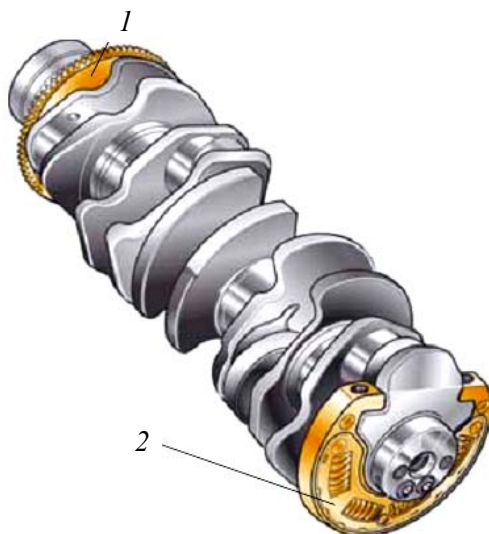


Рис. 4. Коленчатый вал:
1 – задающий диск датчика частоты вращения;
2 – гаситель крутильных колебаний

Чтобы снизить удельные давления, действующие при сгорании топлива в сопряжениях поршневого пальца с бобышками поршня и шатуном, последним придана *трапецевидная* форма (рис. 5). Передаваемые из поршня силы распределяются на большую площадь. Чтобы снизить трение поршневого пальца в бобышках поршня, в них установлены латунные втулки [2].

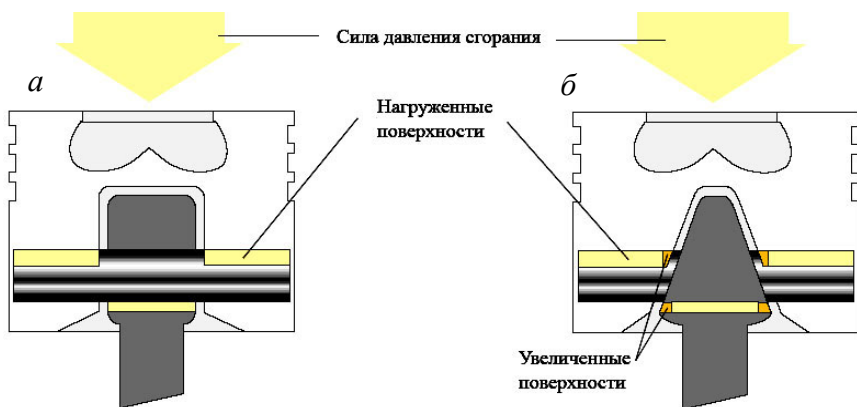


Рис. 5. Распределение усилий на поршне и шатуне:
a – с параллельными сопрягающимися поверхностями;
б – с трапециевидными сопрягающимися поверхностями

Для лучшего охлаждения поршня в зоне колец в его головке предусмотрен охлаждающий канал, получаемый при отливке (рис. 6). При нахождении поршня вблизи НМТ в этот канал впрыскивается охлаждающее масло, подаваемое через специальную форсунку.

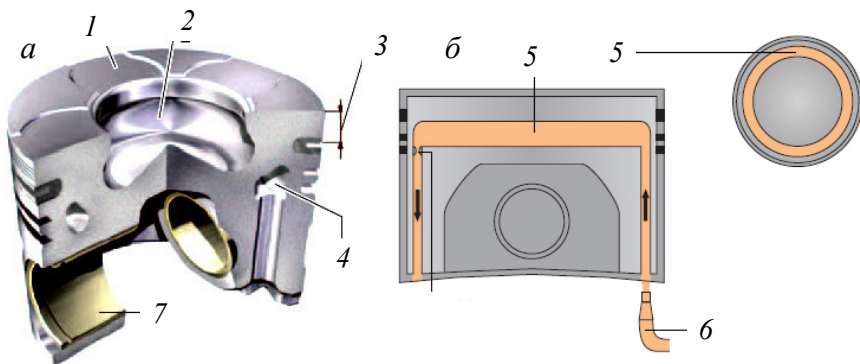


Рис. 6. Поршень:
a – общий вид; *б* – расположение каналов;
1 – подклапанные выемки; *2* – камера сгорания; *3* – высота жарового слоя;
4, 5 – охлаждающий канал; *6* – форсунка; *7* – латунная втулка

Шатун рассматриваемого двигателя отковывается как целая деталь, затем на головке шатуна лазерным лучом прорезается линия разлома 3 для процесса крекинга (рис. 7). После этого крышка шатуна отламывается от головки с достаточным усилием, прикладываемым специальным инструментом 2 [2].

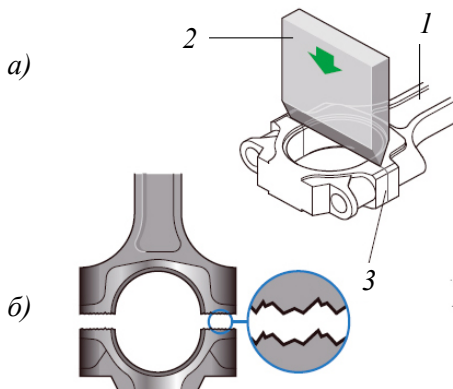


Рис. 7. Схема технологий изготовления шатунов:
а – технология резки; *б* – технология крекинга;
 1 – инструмент для резки; 2 – инструмент для разлома;
 3 – предварительно прорезанная линия разлома

Преимущество такого метода изготовления в том, что при сборке шатуна обе его части стыкуются практически идеально, обеспечивая полное совпадение разлома во всех направлениях; кроме всего прочего, это не позволяет перепутать их при установке, в случае ремонта.

В настоящее время последний способ применяют и при изготовлении крышек коренных подшипников коленчатого вала.

Ось поршневого пальца сдвинута с оси поршня, чтобы снизить шум, возникающий при его перекладке вблизи ВМТ. При положениях шатуна под углом к оси цилиндра на поршень действуют боковые силы, которые прижимают его попеременно к противоположным стенкам цилиндра. Направление боковой силы изменяется, в частности, при движении поршня вблизи ВМТ. Под ее действием поршень перекадывается с одной стенки цилиндра на другую, создавая шум при ударе о нее.

Чтобы предотвратить резкую перекладку поршня и тем самым снизить шум, *смещают ось поршня* с оси цилиндра (рис. 8). Благодаря этому поршень перекадывается постепенно до его прихода в ВМТ.

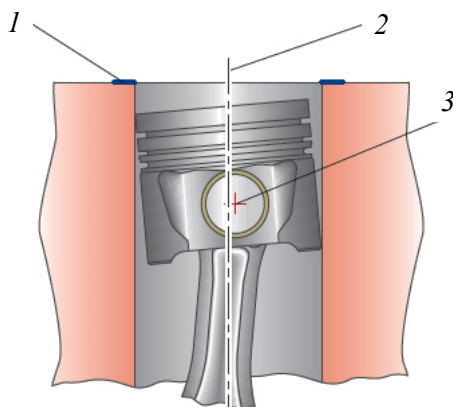


Рис. 8. Схема смещения оси поршневого пальца:
1 – ВМТ; 2 – ось цилиндра; 3 – ось поршневого пальца

Ввиду ограничения длины двигателя при его поперечном расположении применяется шестеренный привод распределительного вала и вспомогательных агрегатов (рис. 9). Этот привод позволяет передавать большие усилия при минимальных размерах. Зубья шестерен с углом наклона 15° отличаются повышенной шириной несущей поверхности, а сами шестерни – относительно малыми размерами.

Шестеренный привод расположен со стороны маховика. Он служит для привода распределительного вала и вспомогательных агрегатов от коленчатого вала. Все вспомогательные агрегаты приводятся непосредственно от шестерен раздаточного механизма [3].

В приводах генератора и компрессора кондиционера предусмотрены упругие муфты (рис. 10), которые компенсируют несоосности валов в пределах допусков на них, а также гасят крутильные и продольные колебания.

К преимуществам этих муфт относится нечувствительность к загрязнению. Это имеет значение прежде всего при внедорожной эксплуатации автомобиля и в странах с большой запыленностью воздуха.

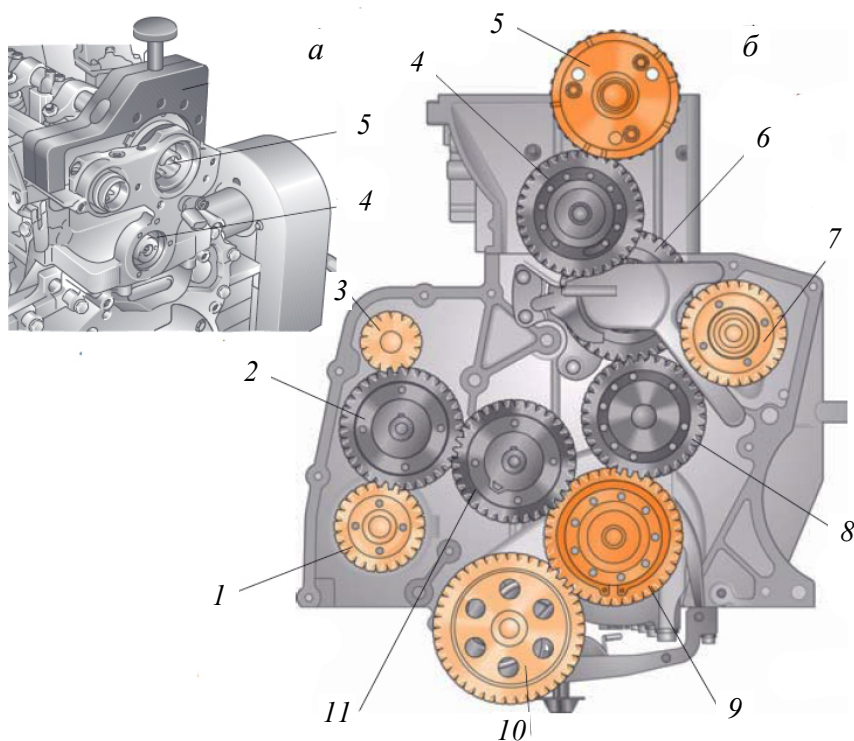


Рис. 9. Шестеренчатый привод распределительного вала и вспомогательных агрегатов:

a – общий вид; *б* – схема расположения шестерен;

- 1* – шестерня привода лопастного насоса гидроусилителя рулевого управления и компрессора кондиционера; *2* – разжимная шестерня; *3* – шестерня привода генератора; *4, 9* – промежуточная шестерня (регулируемая); *5* – шестерня распределительного вала; *6, 8, 11* – промежуточная шестерня; *7* – шестерня насоса охлаждающей жидкости; *10* – шестерня коленчатого вала

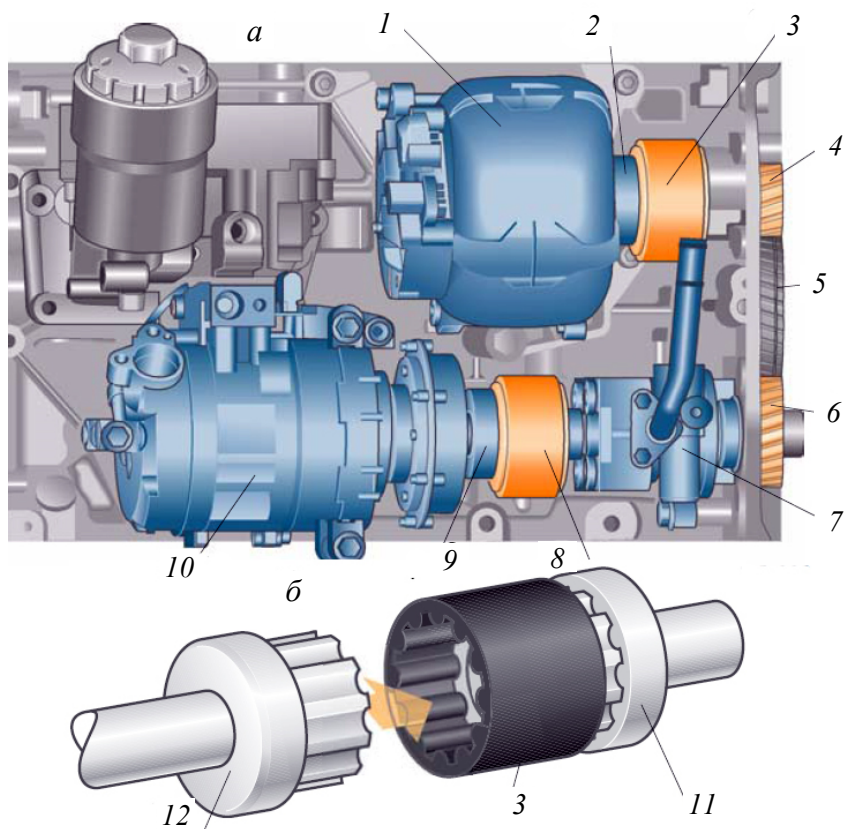


Рис. 10. Агрегаты с упругой муфтой:

а – общий вид; *б* – упругая муфта;

1 – генератор; 2, 9 – обгонная муфта; 3, 8 – упругая муфта; 4 – шестерня генератора; 5 – разжимная шестерня; 6 – шестерня привода лопастного насоса гидросилителя руля и компрессора кондиционера; 7 – лопастной насос гидросилителя руля; 10 – компрессор кондиционера; 11, 12 – ступица

Упругая муфта состоит из двух выполненных из металла зубчатых полумуфт, соединенных посредством упругого элемента.

Разжимная шестерня (рис. 11) позволяет уменьшить боковые зазоры в зацеплениях с шестернями привода вспомогательных агрегатов. Эта шестерня состоит из двух частей, соединенных посредством расположенной между ними пружины.

Предварительно закрученная пружина стремится повернуть части шестерни относительно друг друга. В результате боковые зазоры в зацеплениях разжимной шестерни с шестернями вспомогательных агрегатов снижаются до минимума.

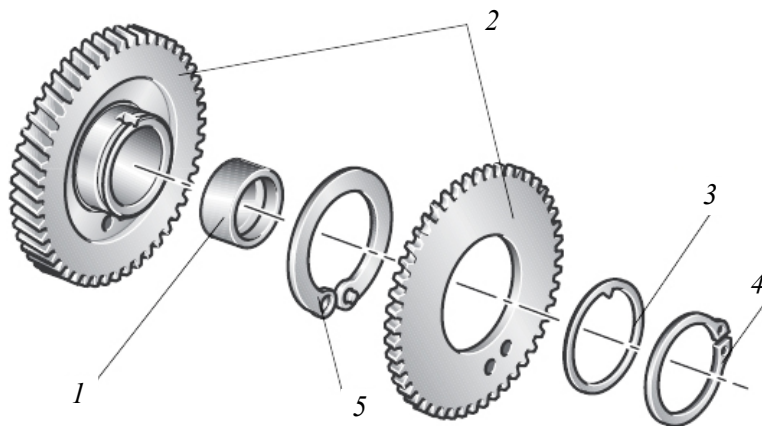


Рис. 11. Разжимная шестерня:
1 – втулка; 2 – разжимная шестерня; 3 – шайба;
4 – стопорное кольцо; 5 – пружина

Контрольные вопросы

1. Общее устройство и компоновка агрегатами дизельного двигателя.
2. Особенности устройства и принцип действия кривошипно-шатунного механизма двигателя легкового автомобиля R5TDI Volkswagen.
3. Особенности устройства и принцип действия газораспределительного механизма двигателя легкового автомобиля R5TDI Volkswagen.
4. Особенности шестеренчатого привода распределительного вала и вспомогательных агрегатов.
5. Особенности привода вспомогательных агрегатов с упругой муфтой.

2. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЕЙ С НАСОС-ФОРСУНКАМИ

Цель работы: изучить устройство и принцип действия систем питания топливом и воздухом дизельных двигателей с насос-форсунками.

Оборудование: дизельный двигатель легкового автомобиля с насос-форсунками; топливоподкачивающие насосы высокого давления системы; электрогидравлическая и пьезогидравлическая насос-форсунки; шиберный лопастной насос с отдельно расположенными лопатками; турбонагнетатели дизельных двигателей; набор инструмента.

2.1. Насос-форсунки

Общие положения

Насос-форсунки состоят из трех подсистем: подачи топлива низкого давления, подачи топлива высокого давления, подачи воздуха и выпуска отработавших газов.

Подсистема подачи топлива низкого давления необходима для подачи топлива к насосу высокого давления и очистки топлива.

Подсистема подачи топлива высокого давления служит для создания высокого давления впрыска топлива в камеру сгорания.

Подсистема подачи воздуха и выпуска отработавших газов включает в себя приборы для очистки воздуха, поступающего в цилиндры двигателя и очистки отработавших газов после выпуска их из цилиндров.

Основные компоненты системы питания дизельного двигателя с насос-форсунками показаны на рис. 12 [2].

Расположенный в баке электрический топливоподкачивающий насос 15 подкачивает топливо к фильтру. Обратный клапан 12 предотвращает слив топлива из распределителя 7 и трубопровода низкого давления 14 в бак после остановки двигателя.

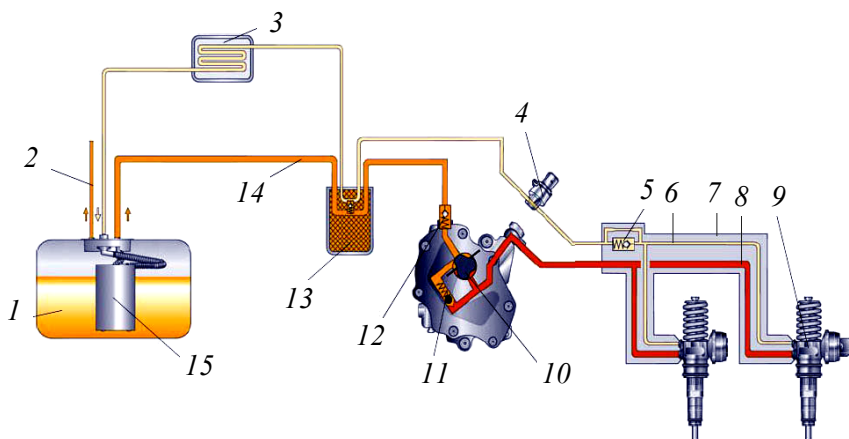


Рис. 12. Система питания дизельного двигателя с насос-форсунками:

- 1 – топливный бак; 2 – топливопровод к дополнительному отопителю;
 3 – охладитель топлива; 4 – датчик температуры топлива; 5 – ограничительный клапан в сливном трубопроводе; 6 – сливной трубопровод; 7 – распределитель топлива; 8 – трубопровод высокого давления; 9 – насос-форсунка;
 10 – топливоподкачивающий насос; 11 – редукционный клапан в трубопроводе подачи топлива; 12 – обратный клапан; 13 – топливный фильтр; 14 – трубопровод низкого давления; 15 – топливоподкачивающий насос

Топливоподающий насос 10 служит для забора топлива из фильтра и подачи его под повышенным давлением к насос-форсункам. Редукционный клапан 11 поддерживает давление подаваемого к насос-форсункам топлива в пределах $8,5 \text{ кгс/см}^2$. Ограничительный клапан 5 удерживает давление топлива в сливном трубопроводе на уровне 1 кгс/см^2 ; благодаря ему снижаются пульсации давления в системе.

Из-за высокого давления впрыска в топливных системах дизелей легковых автомобилей с насос-форсунками и в некоторых системах Common Rail топливо нагревается до такой степени, что для предотвращения повреждения топливного бака и датчика уровня топлива оно должно охлаждаться перед возвратом в бак. Топливо, возвращающееся от форсунок, проходит через охладитель 3, отдавая тепло в контуре охлаждения. Датчик температуры топлива 4 вырабатывает сигнал, поступающий в блок управления двигателем.

От фильтра топливо подается в питающую магистраль в головке блока. В питающей магистрали топливо течет по внутренним стен-

кам распределителя топлива 7 в направлении первого цилиндра. Через отверстия в стенках топливо подается в кольцевую полость между распределителем и стенками головки блока (рис. 13) [2].

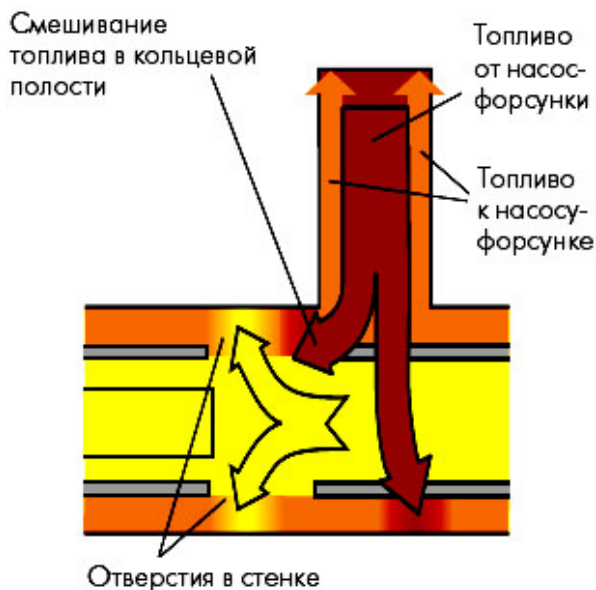


Рис. 13. Смешивание топлива в распределителе

Здесь топливо смешивается с нагретым топливом, которое выдвинуто от насос-форсунок в питающую магистраль. Благодаря этому достигается одинаковая температура, а значит, и одинаковое количество топлива, поступающего ко всем насос-форсункам, что обеспечивает равномерную работу двигателя. Без распределителя топливо поступало бы в насос-форсунки неравномерно. Нагретое топливо, выжимаемое от насос-форсунок в питающую магистраль, продвигалось бы поступающим топливом от четвертого цилиндра в направлении первого цилиндра. Из-за этого температура топлива повышалась бы от четвертого цилиндра к первому и к насос-форсункам поступало бы различное количество топлива. Следствием этого была бы неравномерная работа двигателя и слишком высокая температура в зоне передних цилиндров.

2.2. Компоненты системы подачи топлива

Топливоподкачивающий насос. Топливоподкачивающие насосы могут быть как с внутренним зацеплением шестерен (рис. 14), так и шиберные.

Давление подаваемого насосом топлива регулируется редукционным клапаном 5.

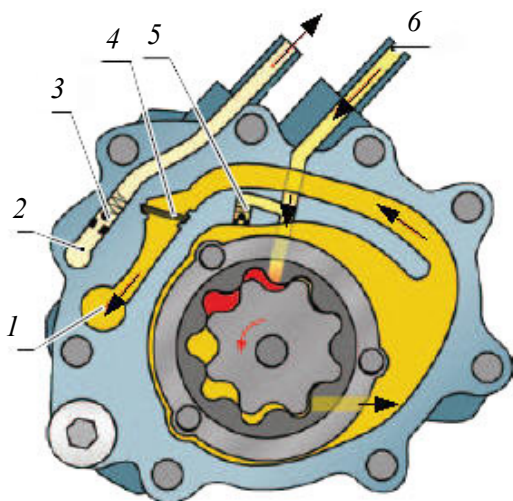


Рис. 14. Топливоподкачивающий насос с внутренним зацеплением шестерен:
1 – подача топлива к насос-форсункам; 2 – возврат топлива от насос-форсунок;
3 – редукционный клапан на стороне возврата топлива; 4 – сетчатый фильтр;
5 – редукционный клапан на стороне подачи топлива; 6 – подача топлива из бака

При частоте вращения коленчатого вала 4000 об/мин давление топлива может повышаться до $11,5 \text{ кгс/см}^2$. Установленный в системе возврата топлива редукционный клапан 3 поддерживает в ней давление порядка 1 кгс/см^2 . Благодаря этому снижаются пульсации потока топлива, действующего на электромагнитные клапаны насос-форсунок.

Топливоподкачивающий насос шиберного типа конструктивно выполнен как роторный насос (рис. 15).

В этой конструкции подкачивающего насоса, применяемого в дизелях легковых автомобилей с насос-форсунками, две отдельно расположенные лопатки прижимаются пружинами 3 к ротору 1. Топливный

насос шиберного типа работает по принципу всасывания при увеличении объема камер и подачи при уменьшении объема их. Топливо засасывается и подается попеременно двумя камерами из четырех. Всасывающие и напорные камеры отделены шиберными заслонками.

При вращении ротора объем на стороне всасывающей полости 2 увеличивается и топливо попадает в две камеры. Далее, при вращении ротора, объем камеры уменьшается и топливо выталкивается из камер в выходной канал давления 5. Такой насос подает топливо даже при очень низкой частоте вращения.

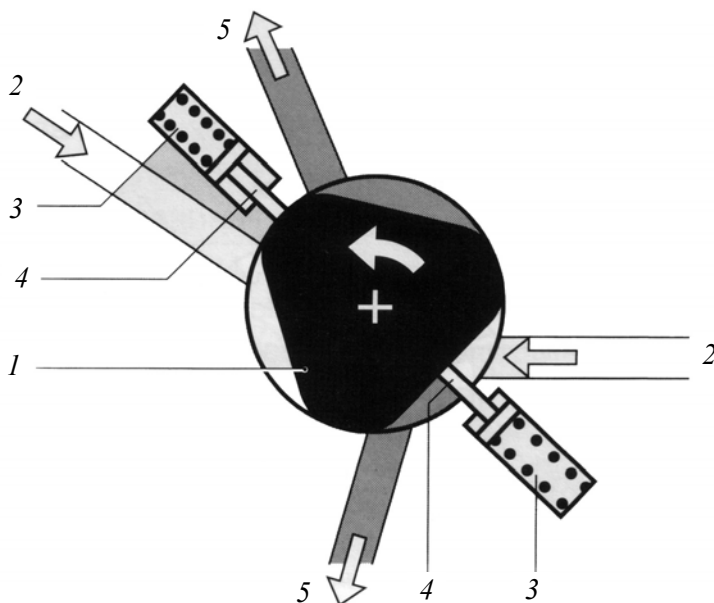


Рис. 15. Схема лопастного насоса с отдельно расположенными лопатками:
1 – ротор; 2 – сторона всасывания; 3 – пружины;
4 – отдельные лопатки; 5 – сторона нагнетания.

Как правило, топливоподкачивающий насос располагается непосредственно за вакуумным насосом на головке блока цилиндров. Оба насоса имеют общий привод от распределительного вала и поэтому составляют единый тандемный насос.

Насос-форсунки могут иметь электромагнитный (соленоидный) или пьезоэлектрический клапан управления.

Насос-форсунка с электрическим клапаном управления представляет собой одноцилиндровый насос высокого давления индивидуальный для каждого цилиндра двигателя (рис. 16) [3].

Внутри корпуса насос-форсунки имеется цилиндрическая полость высокого давления. Соленоидный клапан монтируется как одно целое с насос-форсункой. Крепление насос-форсунки к головке блока осуществляется с помощью прижимной скобы. В приводе насос-форсунки, в отличие от привода механизма газораспределения, отсутствуют тепловые зазоры, так как здесь с помощью возвратной пружины осуществляется постоянный контакт между толкателем плунжера, коромыслом и кулачком приводного вала.

Быстродействующий соленоидный клапан в соответствии с параметрами, определяемыми блоком управления, обеспечивает регулировку времени начала и конец впрыска топлива. В отключенном положении соленоидный клапан открыт и обеспечивает полное прохождение топлива от топливоподкачивающего насоса к подплунжерному пространству насоса. Во время хода плунжера 3 насос-форсунки соленоидный клапан перекрывает подачу топлива, герметизируя плунжерную пару, и при ходе плунжера вниз происходит впрыск топлива через форсунку в камеру сгорания. Момент закрытия соленоидного клапана регулирует начало впрыска и его продолжительность. По сравнению с впрыском бензиновых двигателей электромагнитный клапан должен управлять давлением в 300–500 раз большим, при этом переключение клапана происходит в 10–20 раз быстрее.

Использование насос-форсунки исключает применение топливопроводов высокого давления, благодаря чему снижаются потери давления при подаче топлива из-за периодических расширений топливопроводов в начале подачи и разгрузке в конце подачи. Максимальное давление, развиваемое насос-форсунками, составляет 2500 кгс/см². Электронные трехмерные параметрические характеристики в комбинации с высоким давлением впрыска приводят к снижению потребления топлива при одновременном снижении выброса токсичных веществ, что имеет большое значение, принимая во внимание строгие требования соблюдения европейских стандартов. При использовании управления соленоидным клапаном имеются возможности реализовать предварительный (пилотный) впрыск и отключение отдельные цилиндры из работы при частичных нагрузках, что уменьшает расход топлива.

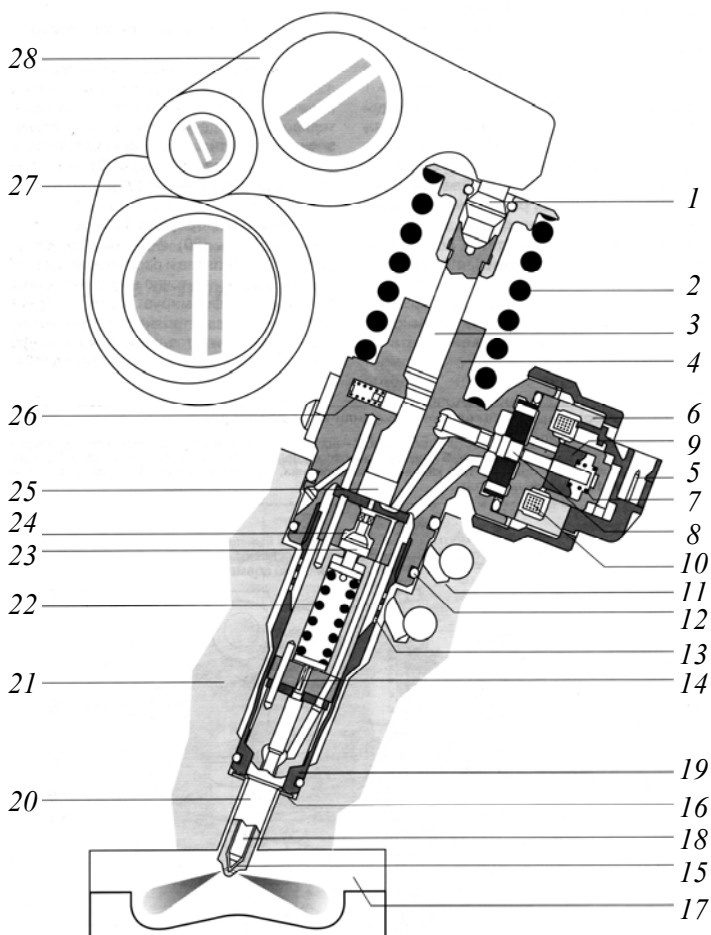


Рис. 16. Насос-форсунка (PDE):

- 1 – упор сферический; 2 – пружина возвратная; 3 – плунжер насоса; 4 – корпус;
 5 – штекер для подачи управляющего сигнала; 6 – сердечник электромагнита;
 7 – пружина выравнивающая; 8 – игла соленоидного клапана; 9 – якорь
 электромагнита; 10 – катушка электромагнита; 11 – канал обратного слива
 топлива; 12 – уплотнение; 13 – отверстия-фильтры подвода топлива (350 шт.);
 14 – гидростоп; 15 – седло иглы; 16 – шайба уплотнительная;
 17 – камера сгорания; 18 – игла распылителя; 19 – гайка распылителя;
 20 – распылитель; 21 – головка блока; 22 – пружина распылителя;
 23 – уравнивающий поршень; 24 – полость аккумуляирования топлива;
 25 – полость высокого давления; 26 – пружина электромагнитного клапана;
 27 – вал привода насос-форсунки; 28 – коромысло

Соленоидный клапан. Основными задачами соленоидного клапана являются: обеспечение точного времени начала впрыска топлива относительно угла поворота коленчатого вала двигателя на различных режимах работы, продолжительности впрыска и количества топлива, впрыскиваемого в цилиндр двигателя.

Соленоидный клапан можно разделить на две группы – соленоидную и клапанную. Клапанная группа состоит из игольчатого клапана 2 (рис. 17), корпуса 12 клапана, составляющего одно целое с корпусом насоса и пружины клапана 1 [3].

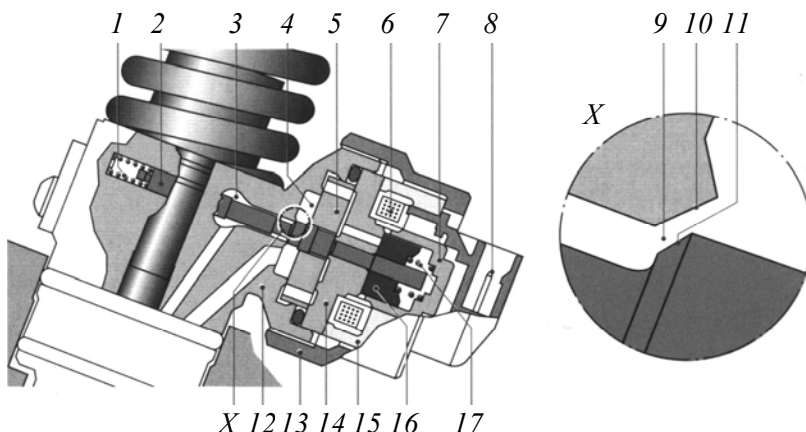


Рис. 17. Соленоидный клапан для легковых автомобилей:

- 1 – пружина клапана; 2 – игольчатый клапан; 3 – камера высокого давления;
- 4 – камера низкого давления; 5 – компенсационная шайба; 6 – катушка;
- 7 – упор; 8 – штекер; 9 – щель для прохода топлива; 10 – уплотнительная плоскость корпуса клапана; 11 – уплотнительная плоскость клапана;
- 12 – корпус; 13 – накидная гайка; 14 – магнитный диск;
- 15 – магнитный сердечник; 16 – якорь; 17 – уравнивательная пружина

Уплотнительная плоскость 10 корпуса клапана имеет конусообразную форму. Посадочная поверхность клапана 11 имеет точно такую форму, однако угол конуса клапана больше угла конуса его корпуса. Когда клапан закрыт и прижат к корпусу, корпус и клапан соприкасаются только по линии седла клапана, благодаря чему достигается очень хорошее уплотнение клапана. Клапан и его корпус составляют прецизионную пару и очень плотно подогнаны друг к другу.

Магнит состоит из ярма магнитопровода и подвижного якоря 16. Ядро состоит из магнитного сердечника 15, катушки 6 и штекеров выводных контактов 8. Якорь соединен с клапаном. Между магнитным ярмом и якорем в исходном положении имеется зазор.

Принцип действия соленоидного клапана. Электромагнитный клапан имеет два переключаемых положения – «клапан открыт» и «клапан закрыт». Клапан открыт, когда напряжение питания на катушку не подается. Клапан закрывается при подаче напряжения питания от задающего каскада ЭБУ.

Клапан открыт. Под усилием пружины 1 клапан 2 прижимается к упору 7, в результате чего обеспечивается проход топлива через щель для прохода топлива 9 между иглой и корпусом в области седла клапана. При этом камеры высокого 3 и низкого 4 давления соединены между собой. В этом исходном положении топливо может как втекать в камеру высокого давления, так и вытекать из нее.

Клапан закрыт. Когда наступает момент впрыска топлива, на катушку клапана подается напряжение питания от задающего каскада ЭБУ. Ток срабатывания вызывает магнитный поток в элементах магнитного контура (магнитный сердечник и якорь), который генерирует силу магнитного притяжения для перемещения якоря к статору. В результате движение якоря останавливается иглой при ее посадке на седло в корпусе. При этом между якорем и статором остается небольшой воздушный зазор. Клапан теперь закрыт, и при движении плунжера насос-форсунки вниз осуществляется впрыск топлива.

Сила магнитного притяжения используется не только для подтягивания якоря, но и для преодоления силы действия пружины клапана и, таким образом, удерживания якоря. Кроме того, сила магнитного притяжения прикладывается к уплотнительным поверхностям седла для удерживания их в контакте друг с другом. Якорь удерживается в данном положении до тех пор, пока на катушку клапана подается напряжение питания.

Чем сильнее магнитный поток, тем ближе располагается к статору якорь. После закрытия клапана можно уменьшить ток до удерживающего уровня. Клапан, таким образом, остается закрытым, а потери мощности и, следовательно, выделение тепла, оказываются минимальными.

Для прекращения процесса впрыска топлива должна быть прекращена подача напряжения на катушку клапана, в результате чего

магнитный поток исчезает, как и сила магнитного притяжения, и пружина перемещает иглу клапана в ее исходное положение на упоре. Проход топлива через седло клапана открывается.

Принцип действия насос-форсунки. Работу насос-форсунки можно разделить на 4 хода плунжера: ход впуска, предварительный ход, ход нагнетания и впрыска топлива, окончание процесса впрыска (рис. 18) [3].

Ход наполнения. При движения плунжера вверх под воздействием возвратной пружины топливо при постоянном давлении поступает по каналу 7 от подкачивающего насоса в полость соленоидного клапана 6, который открыт, так как на него не подается напряжение (рис. 18, а). По каналам топливо попадает в полость высокого давления 4.

Предварительный ход. Кулачок приводного вала, поворачиваясь (рис. 18, б), начинает оказывать давление на плунжер 2, который движется вниз. Соленоидный клапан открыт, и топливо под давлением движущегося вниз плунжера 2, вытесняется через выпускной канал 8 в систему низкого давления.

Ход нагнетания и процесс впрыска топлива (рис. 18, в). От блока управления на катушку 9 соленоидного клапана подается напряжение, и якорь соленоидного клапана под воздействием созданного электромагнитного поля закрывает клапан, преодолевая при этом сопротивление пружины клапана. Сила магнитного потока при этом должна быть достаточно большой, чтобы обеспечить достаточное уплотнение между плоскостями 10 и 11 (рис. 17). Чем ближе якорь расположен к ярму, тем больше сила притяжения клапана к седлу, что позволяет снизить ток управления соленоидным клапаном, уменьшая расход электроэнергии, и сохранить при этом закрытое положение клапана. Сообщение между полостями высокого и низкого давления при этом перекрывается. Закрытие соленоидного клапана приводит к изменению тока катушки 9 (рис. 18), что определяется блоком управления как начало подачи топлива.

Давление топлива в полости высокого давления при движении плунжера возрастает. Одновременно возрастает давление и в полости распылителя форсунки. При достижении давления начала подъема иглы распылителя около 300 кгс/см^2 игла распылителя слегка приподнимается и начинается впрыск топлива в камеру сгорания (фактическое начало впрыска или начало подачи). Давление впрыска постоянно увеличивается по мере хода плунжера насоса.

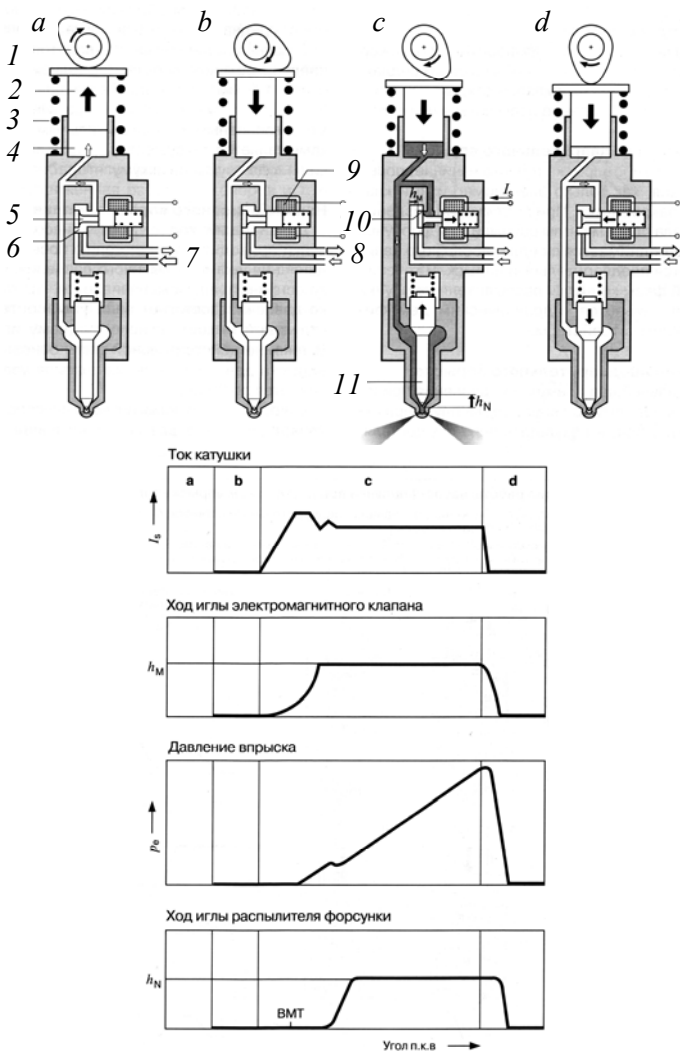


Рис. 18. Принцип действия насос-форсунки:

a – ход наполнения; *b* – предварительный ход; *c* – ход нагнетания и процесс впрыска топлива; *d* – окончание процесса впрыска; 1 – кулачок приводного вала; 2 – плунжер; 3 – возвратная пружина; 4 – полость высокого давления; 5 – клапан соленоида; 6 – полость соленоидного клапана; 7 – впускной канал; 8 – выпускной канал; 9 – катушка соленоида; 10 – седло клапана; 11 – игла форсунки; I_s – сила тока – ток в обмотке электромагнита; h_M – ход электромагнитного клапана; p_e – давление впрыска; h_N – ход иглы форсунки

Окончание процесса впрыска (рис. 18, *d*). При прекращении подачи тока на обмотку соленоида клапан приоткрывается и сообщение между полостями высокого и низкого давления снова восстанавливается. В момент переходной фазы между ходом нагнетания и окончанием процесса впрыска достигается наибольшее давление нагнетания. В зависимости от типа насоса-форсунки оно составляет 1800–2800 кгс/см². После полного открытия электромагнитного клапана давление резко падает, игла форсунки при этом закрывает отверстие распылителя, усилием пружины клапан устанавливается в исходное положение и процесс впрыска заканчивается.

Предварительный впрыск. Как отмечалось ранее, для снижения шума и выброса токсичных веществ в форсунках, в том числе и насос-форсунках, может применяться предварительный впрыск. Такой впрыск можно подразделить на 4 фазы: исходное состояние, начало предварительного впрыска, конец предварительного впрыска и начало основного впрыска (рис. 19) [3].

Исходное состояние (рис. 19, *a*). Игла форсунки 7 и разгрузочный поршень 3 прижаты к своим седлам, соленоидный клапан открыт, поэтому давление под плунжером отсутствует.

Начало предварительного впрыска (рис. 19, *b*). Соленоидный клапан закрывается, плунжер начинает двигаться вниз, поэтому давление под плунжером возрастает. При достижении давления открытия игла форсунки приподнимается и начинается впрыск. В этой фазе ход иглы форсунки зависит только от давления под плунжером.

Конец предварительного впрыска (рис. 19, *c*). При дальнейшем движении плунжера вниз давление под плунжером возрастает в большей степени и разгрузочный поршень 3, преодолевая сопротивление пружины, отходит от своего седла. При этом открывается проход топлива от полости высокого давления 2 в разгрузочную полость 4. В этот момент давление под иглой форсунки падает и игла закрывается, впрыск при этом прекращается. Во время предварительного впрыска через форсунку подается около 1,5 мм³ дизельного топлива, что разогревает камеру сгорания и позволяет топливу воспламениться быстрее.

Основной впрыск (рис. 19, *d*). При дальнейшем движении плунжера вниз давление под ним продолжает возрастать. С достижением давления до 2050 кгс/см² форсунка снова открывается и начинается основной впрыск.

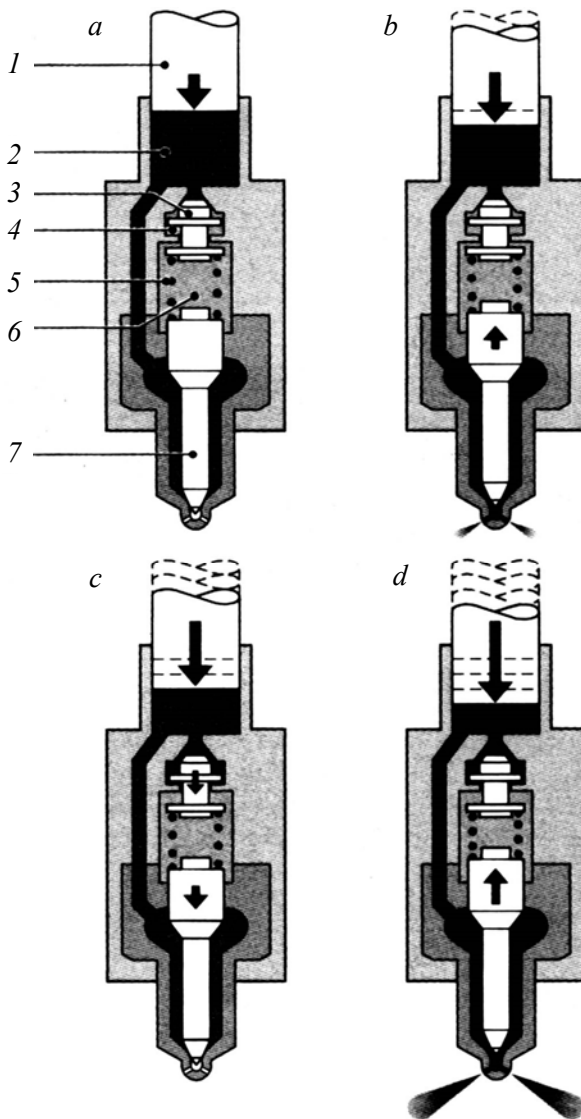


Рис. 19. Предварительный впрыск:
a – исходное состояние; *b* – начало предварительного впрыска;
c – конец предварительного впрыска; *d* – основной впрыск; 1 – плунжер;
 2 – полость высокого давления; 3 – разгрузочный поршень;
 4 – разгрузочная полость; 5 – пружина; 6 – корпус пружины; 7 – игла форсунки

В момент открытия соленоидного клапана впрыск прекращается, разгрузочный поршень и игла форсунки занимают исходное положение.

Насос-форсунка с пьезоэлектрическим клапаном управления отличается от насос-форсунки с соленоидным клапаном приводом клапана управлением моментами начала и окончания подачи топлива. В таких форсунках устанавливается пьезоэлектрический клапан, который обладает значительно большим быстродействием, чем соленоидный клапан.

Пьезоэлектрический клапан состоит из пьезопривода в корпусе с штекерным разъемом, рычажного мультипликатора 4 и иглы клапана 13, перемещающейся в корпусе насос-форсунки (рис. 20) [2].

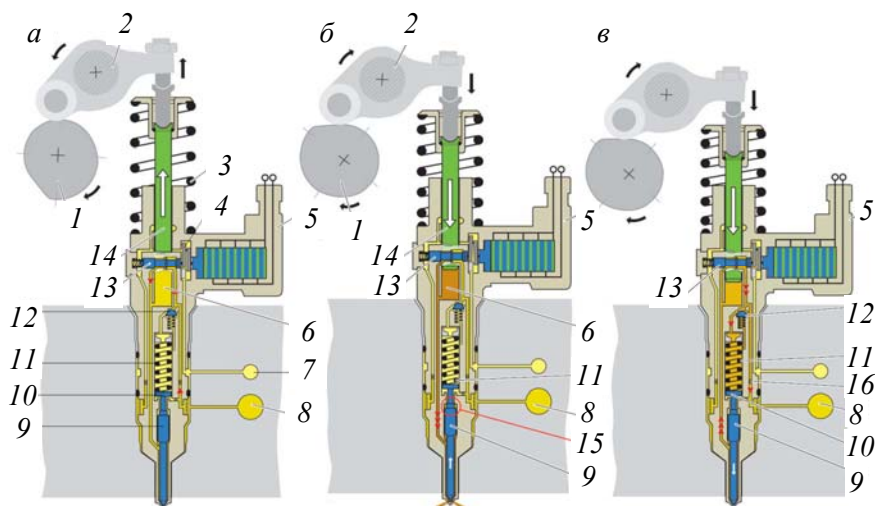


Рис. 20. Схема и принцип работы пьезоэлектрической насос-форсунки в режиме впрыска запальной дозы топлива:

а – процесс наполнения полости под плунжером; *б* – начало впрыска запальной дозы топлива; *в* – завершение впрыска запальной дозы топлива;

- 1 – кулачок привода насос-форсунки; 2 – ролик коромысла; 3 – пружина плунжера; 4 – рычажный мультипликатор; 5 – пьезоэлектрический клапан;
- 6 – полость высокого давления; 7 – магистраль слива топлива; 8 – магистраль подвода топлива; 9 – игла распылителя; 10 – запорный поршень; 11 – пружина форсунки; 12 – обратный клапан; 13 – игла клапана; 14 – плунжер;
- 15 – демпфирующий объем над иглой; 16 – дроссель в канале подвода топлива

Ход пьезопривода равен приблизительно 0,04 мм. Однако полный ход иглы 13 клапана должен быть порядка 0,1 мм. Чтобы решить эту задачу, между пьезоприводом и иглой клапана устанавливают рычажный мультипликатор 4 с соответствующим передаточным отношением.

При отсутствии управляющего напряжения пьезопривод находится в исходном положении. При этом клапан открыт, так как его игла поднимается с седла под действием возвратной пружины. При подаче напряжения нажимная пластина приводит в действие мультипликатор, который обеспечивает перемещение иглы клапана на 0,1 мм. При этом клапан закрывается, а в полости под плунжером начинает подниматься давление.

Принцип действия насос-форсунки с пьезоэлектрическим клапаном управления. Впрыск запальной дозы топлива.

Процесс наполнения полости под плунжером (рис. 20, а). Подъем плунжера происходит под действием его пружины вслед за поворотом кулачка и роликового коромысла насос-форсунки. Кулачку придана несимметричная форма, которая обеспечивает перемещение плунжера вверх с пониженной скоростью. При этом полость под плунжером заполняется топливом, поступающим через открытый пьезоэлектрический клапан из магистрали его подвода 8 к насос-форсунке.

Начало впрыска запальной дозы топлива (рис. 20, б). При набегаании кулачка на ролик коромысло поворачивается и перемещает плунжер с относительно большой скоростью вниз. Вытесняемое плунжером топливо перетекает в каналы низкого давления до тех пор, пока не закроется пьезоэлектрический клапан. После закрытия этого клапана давление топлива в полости под плунжером начинает быстро расти. При его повышении до 130 кгс/см^2 преодолевается усилие затяжки пружины 11 форсунки. В результате этого игла распылителя поднимается и начинается впрыск запальной дозы топлива. При этом движение иглы распылителя демпфируется топливом, вытесняемым из объема 15 между ее торцом и корпусом форсунки. Ограничение подъема иглы необходимо для повышения точности подачи малых доз топлива, характерных для предварительного впрыска.

Завершение впрыска запальной дозы топлива (рис. 20, в). Впрыск запальной дозы топлива заканчивается в результате открытия пьезоэлектрического клапана. Давление вытесняемого плунжером топлива снижается в результате слива его в магистраль 8, служащую для его

подвода к насос-форсунке. Игла распылителя опускается на седло под действием пружины форсунки и поддерживающего ее давления топлива, которое поступает в полость пружины форсунки через обратный клапан 12. Это давление создается дросселем 16, установленным во внутреннем канале подвода топлива. Действующее в полости пружины давление топлива передается посредством запорного поршня 10 на иглу распылителя и ускоряет ее посадку.

В зависимости от режима работы двигателя блок управления может инициировать впрыск одной или двух запальных доз топлива.

Впрыск основной дозы топлива.

Начало впрыска основной дозы (рис. 21, а). Впрыск основной дозы топлива производится при продолжающемся движении плунжера вниз. После посадки на седло иглы пьезоэлектрического клапана начинается повышение давления в распылителе, игла которого поднимается с седла только при относительно большом давлении, соответствующем суммарному усилию затяжки пружины форсунки и усилию, создаваемому давлением топлива в полости пружины. Повышенное давление топлива в полости пружины форсунки создается после впрыска запальной дозы топлива и удерживается в ней благодаря обратному клапану 12. Это давление действует на запорный поршень 10 форсунки. Максимальное давление впрыска достигает на режиме максимальной мощности 2200 кгс/см^2 .

Завершение впрыска основной дозы топлива (рис. 21, б). Впрыск основной дозы топлива заканчивается вследствие открытия пьезоэлектрического клапана. Как и при окончании впрыска запальной дозы, давление топлива снижается в результате его слива в топливоподводящий канал и полость пружины форсунки. Посадка иглы распылителя на седло производится под суммарным действием пружины и запорного поршня.

Для регенерации сажевого фильтра может применяться дополнительный впрыск. Процесс впрыска дополнительного топлива практически не отличается от процесса впрыска основного топлива, но характеризуется существенно меньшими давлением и количеством впрыскиваемого топлива ввиду меньшей продолжительности его подачи.

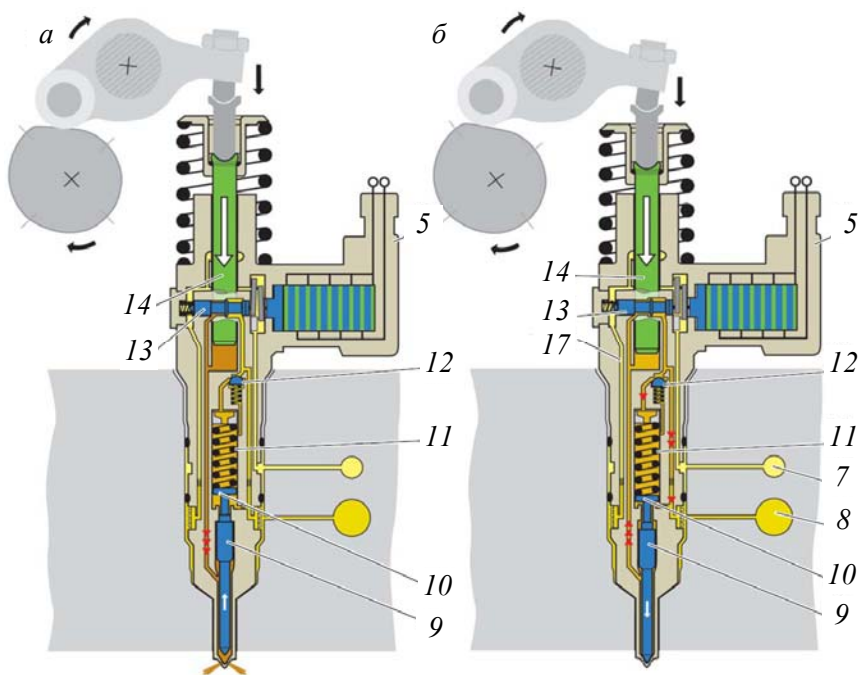


Рис. 21. Схема и принцип работы пьезоэлектрической насос-форсунки в режиме впрыска основной дозы топлива (описание большинства позиций см. на рис. 20): а – начало впрыска; б – завершение впрыска; 17 – охлаждающий канал

Особенности ременного привода ГРМ. В дизельных двигателях, оборудованных насос-форсунками, зубчатый ремень при впрыске топлива имеет значительные нагрузки. Зубчатое колесо при нажатии коромысла на плунжер насос-форсунки замедляется, зубчатое колесо коленчатого вала одновременно ускоряется при сгорании топлива. Вследствие этого ремень растягивается и расстояние между зубьями ремня существенно увеличивается. Из-за существующего порядка работы двигателя этот процесс периодически повторяется, потому что одни и те же зубья зубчатого колеса входят в зацепление с зубчатым ремнем.

При наличии зубчатого колеса коленчатого вала с одинаковыми расстояниями между зубьями зубья ремня наталкиваются на края зубьев зубчатого колеса при увеличенной нагрузке на ремень при впрыске топлива. Следствие этого – большой износ и небольшой

срок службы зубчатого ремня. Чтобы устранить последствия этого явления на ремне и разгрузить ремень при впрыске топлива, на зубчатом колесе коленчатого вала имеются две пары зубьев с увеличенным расстоянием между ними по сравнению с другими зубьями (рис. 22). Это позволяет компенсировать изменение расстояния между зубьями зубчатого колеса и тем самым уменьшить износ зубчатого ремня.

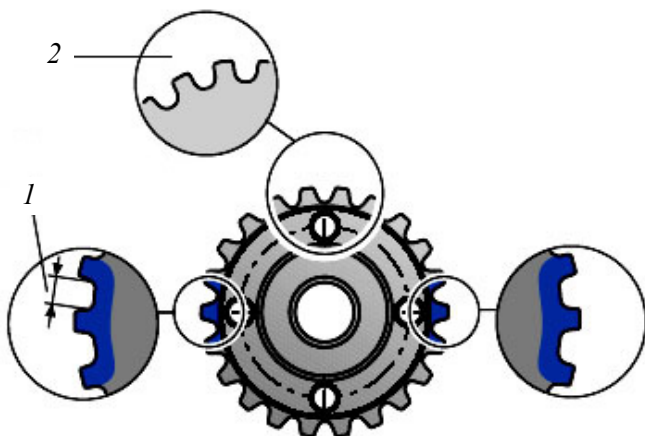


Рис. 22. Шкив коленчатого вала с увеличенным расстоянием между зубьями:
1 – увеличенное расстояние между зубьями;
2 – основное расстояние между зубьями

При пуске двигателя блоку управления двигателя необходимо знать, в каком цилиндре происходит такт сжатия для подачи команды на впрыск соответствующему электромагнитному (пьезоэлектрическому) клапану. Опознанию номера цилиндра при пуске двигателя может служить сигнал от датчика Холла, который считывает информацию по положению зубьев ротора на распределительном валу и тем самым определяет положение распределительного вала. При отсутствии сигнала от датчика Холла блок управления использует сигнал от датчика частоты вращения двигателя G28.

Поскольку распределительный вал за рабочий цикл двигателя делает один оборот на 360° , на роторе распределительного вала на каждый цилиндр приходится по одному зубу, расположенному под 90° от двух соседних зубьев. Чтобы можно было опознать принад-

лежность каждого зуба к определенному цилиндру, на роторе имеются дополнительные зубья для 1-го, 2-го и 3-го цилиндров, расположенные на разных расстояниях от основных зубьев (рис. 23).

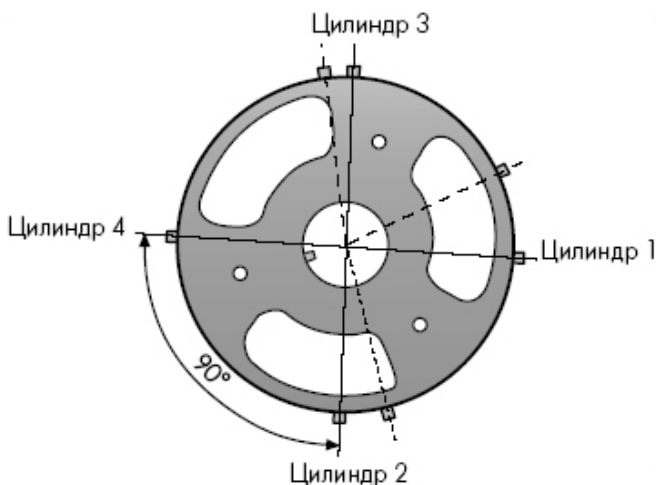


Рис. 23. Ротор распределительного вала

Каждый раз, когда какой-либо зуб проходит мимо датчика Холла, в датчике возникает напряжение, сигнал о котором передается блоку управления двигателя. Поскольку все зубья размещены на различном расстоянии один от другого, сигналы от датчика Холла поступают через разные промежутки времени. Вследствие этого блок управления двигателя опознает соответствующий цилиндр, что дает возможность дать сигнал на срабатывание нужному электромагнитному клапану.

Для того чтобы обеспечить быстрый пуск двигателя, блок управления двигателя оценивает сигналы от датчика Холла и от датчика частоты вращения двигателя (рис. 24). По сигналу от датчика Холла, который подается по положению ротора на распределительном валу, опознается цилиндр. По двум пропускам зубьев на роторе на коленчатом валу блок управления двигателя уже после полуоборота коленчатого вала получает исходный сигнал. Благодаря этому блок управления двигателя рано опознает положение коленчатого вала по отношению к цилиндрам и может подать сигнал на электромаг-

нитный клапан соответствующей насос-форсунки для осуществления впрыска топлива.

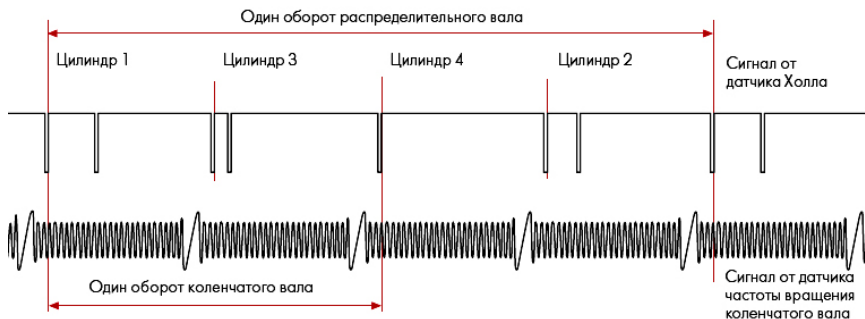


Рис. 24. Поступление сигналов от датчика Холла и от датчика частоты вращения двигателя

Впускная заслонка с электроприводом. Во впускном трубопроводе дизелей с насос-форсунками предусмотрена заслонка 1 с электроприводом (рис. 25), способствующая выполнению норм выброса токсичных веществ с ОГ. Бесступенчатое изменение положения ее позволяет создавать разрежение во впускной системе, необходимое для эффективной рециркуляции ОГ на всех скоростных режимах работы двигателя. Кроме этого, закрытие заслонки при остановке двигателя приводит к существенному снижению наполнения цилиндров воздухом и уменьшению в результате этого колебаний двигателя на подвеске.

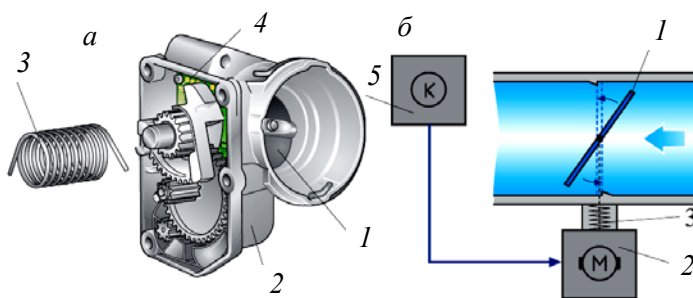


Рис. 25. Впускная заслонка с электроприводом:
 а – общий вид; б – схема подключения;
 1 – впускная заслонка; 2 – электродвигатель; 3 – возвратная пружина;
 4 – электронный регулятор; 5 – блок управления двигателем

Изменение положения впускной заслонки производится по сигналу блока управления двигателем 5, поступающим на электродвигатель 2 ее привода. Действительный угол поворота заслонки определяется с помощью датчика ее положения. Встроенный в корпус заслонки электронный регулятор 4 обрабатывает сигнал этого датчика и управляет приводом заслонки до достижения задаваемого значения. Возвратная пружина 3 выполняет аварийную функцию, открывая впускную заслонку при прекращении питания электродвигателя.

2.3. Подача дополнительного воздуха в цилиндры двигателя (турбонадув)

Мощность, развиваемая двигателем, зависит от количества воздуха и смешанного с ним топлива, которое может быть подано в двигатель. Если нужно увеличить мощность двигателя, следует увеличить количество подаваемого воздуха и топлива. Подача большего количества топлива не даст эффекта до тех пор, пока не появится достаточное для его сгорания количество воздуха, иначе образуется избыток несгоревшего топлива, что приводит к перегреву двигателя и повышенной токсичности отработавших газов.

Увеличение мощности двигателя может быть достигнуто путем увеличения либо его рабочего объема, либо частоты вращения коленчатого вала. Увеличение рабочего объема увеличивает вес, размеры двигателя и в конечном итоге его стоимость. Увеличение частоты вращения коленчатого вала проблематично из-за возникающих при этом технических проблем, особенно для двигателей с большим рабочим объемом.

Технически приемлемым решением проблемы увеличения мощности может быть использование нагнетателя (компрессора). Это означает, что подающийся в двигатель воздух сжимают перед его впуском в камеру сгорания.

Другими словами, компрессор обеспечивает подачу необходимого количества воздуха, достаточного для полного сгорания увеличенной дозы топлива. Следовательно, при прежнем рабочем объеме и той же частоте вращения коленчатого вала мы получаем большую мощность.

Существует две основные системы наддува: с механическим приводом (рис. 26, а) и «турбо» (рис. 26, б) (использующие энергию отработавших газов). Кроме того, существуют также комбинированные системы: например, турбокомпаундная (рис. 26, в).

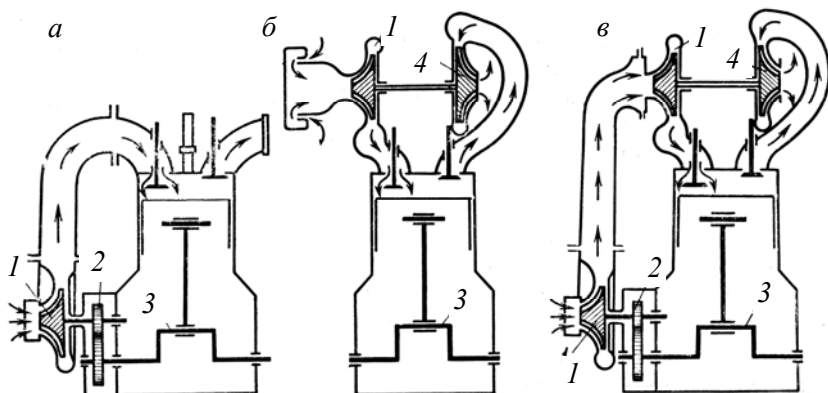


Рис. 26. Системы наддува двигателей:

1 – нагнетательное колесо; 2 – привод компрессора; 3 – коленчатый вал;
4 – приводное колесо

В случае компрессора с механическим приводом необходимое давление воздуха получают благодаря механической связи между коленчатым валом двигателя и нагнетательным колесом или компрессором.

В турбокомпрессоре давление воздуха получают благодаря вращению турбины потоком отработавших газов. Турбокомпрессор состоит из двух турбин, состоящих из нагнетательного колеса 2 и приводного 9, связанных между собой при помощи вала (рис. 27). Вал установлен на двух опорах 11 и 12, на которые постоянно подается масло, охлаждающее и смазывающее опоры.

Обе турбины вращаются в одном направлении и с одинаковой скоростью. Выходящие из цилиндров двигателя отработавшие газы имеют высокую температуру и давление. Они разгоняются до большой скорости (около 10 000 об/мин) и вступают в контакт с лопатками приводного колеса 9, преобразуя их кинетическую энергию в механическую энергию вращения (крутящий момент). С такой же скоростью вращается и нагнетательное колесо турбины 2, которое подает сжатый воздух к двигателю. Нагнетательное колесо 2 выполнено таким образом, что уже при небольшом потоке отработавших газов достигается достаточное давление нагнетаемого воздуха. В режиме полной нагрузки двигателя достигается максимальное избыточное давление (1,1–1,6 кгс/см²) при частоте вращения коленчатого вала около 2000 об/мин и поддерживается постоянным при дальнейшем наборе частоты вращения вплоть до максимальной.

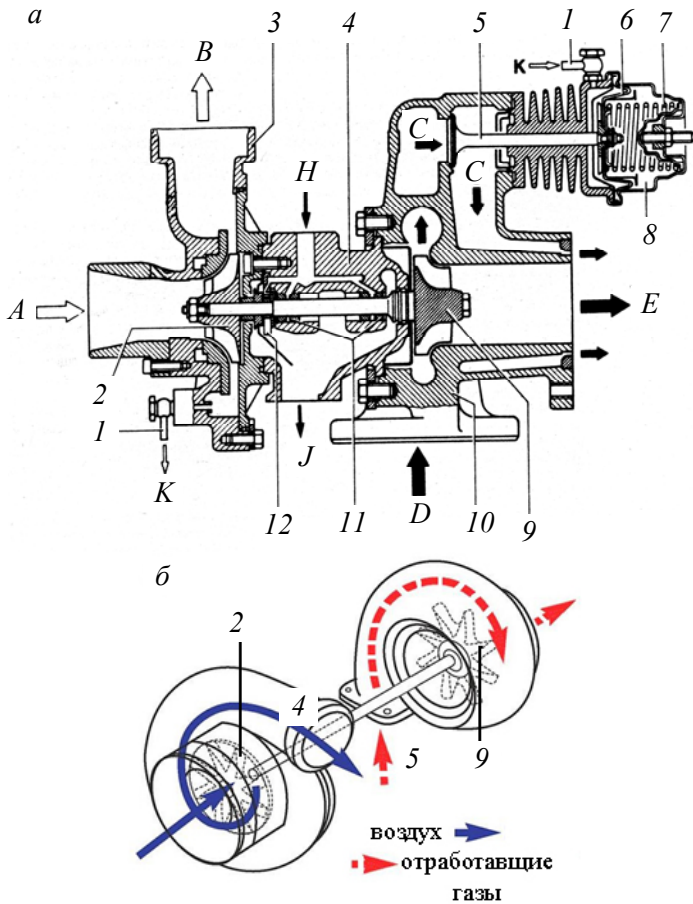


Рис. 27. Турбокомпрессор:

a – общее устройство; *б* – принцип работы;

1 – трубопровод для подачи сжатого воздуха от турбины к диафрагме;

2 – нагнетательное колесо турбины; 3 – корпус нагнетательного колеса;

4 – промежуточный корпус; 5 – сбрасывающий клапан; 6 – диафрагма;

7 – пружина; 8 – диафрагменная камера; 9 – приводное колесо;

10 – корпус турбонагнетателя; 11, 12 – опоры;

A – подача воздуха от воздушного фильтра; *B* – подача воздуха к впускным клапанам; *C* – обводной канал сбрасывающего клапана для ограничения давления нагнетания; *D* – подача отработавших газов от двигателя; *E* – подача отработавших газов к выпускной системе; *H* – подача смазки; *J* – отвод смазки; *K* – подача сжатого воздуха для открытия сбрасывающего клапана

Между двигателем и турбокомпрессором существует связь только через поток отработавших газов. Частота вращения турбин напрямую не зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя и характеризуется некоторой инерционностью, то есть сначала увеличивается подача топлива и энергия потока отработавших газов, а затем уже увеличивается частота вращения турбины и давление нагнетания и в цилиндры двигателя поступает еще больше воздуха, что дает возможность увеличить подачу топлива. Этим объясняется повышенная дымность отработавших газов дизельных двигателей с наддувом на режимах разгона.

Для предотвращения повышения давления больше необходимого при высоких частотах вращения предусмотрено специальное устройство, состоящее из сбрасывающего клапана 5 и диафрагмы 6 с пружиной. Полость перед диафрагмой связана с давлением потока входящего воздуха через трубопровод 1. При увеличении давления, которое происходит с ростом частоты вращения коленчатого вала, диафрагма прогибается, сжимая пружины, и сбрасывающий клапан открывается. Отработавшие газы при этом проходят через дополнительный обводной канал С, что уменьшает частоту вращения приводного колеса турбины, а значит, и нагнетательного колеса. Давление наддува при этом становится постоянным.

Для двигателей, работающих в широком диапазоне частот вращения коленчатого вала (к примеру, в легковом автомобиле), высокое давление наддува желательно даже на низких частотах. Именно поэтому будущее принадлежит турбокомпрессорам с регулируемым давлением. Небольшой диаметр современных турбин и специальные сечения газовых каналов способствуют уменьшению инерционности, то есть турбина очень быстро разгоняется, и давление воздуха очень быстро достигает требуемого значения.

Для удовлетворения постоянно возрастающих требований, которые сегодня предъявляются к автомобильной технике в области расхода топлива, токсичности отработавших газов и уровня шума, разрабатываются электронные системы управления наддувом, одна из которых представлена на рис. 28.

На первом этапе анализируется состояние двигателя на основании определенного числа параметров, таких как температура охлаждающей жидкости, масла, впускаемого воздуха и отработавших газов. Измеряются также частота вращения коленчатого вала, положение

педали акселератора и другие параметры. Все эти данные анализируются электронным блоком управления и используются для определения идеального в данных условиях давления наддува для двигателя.

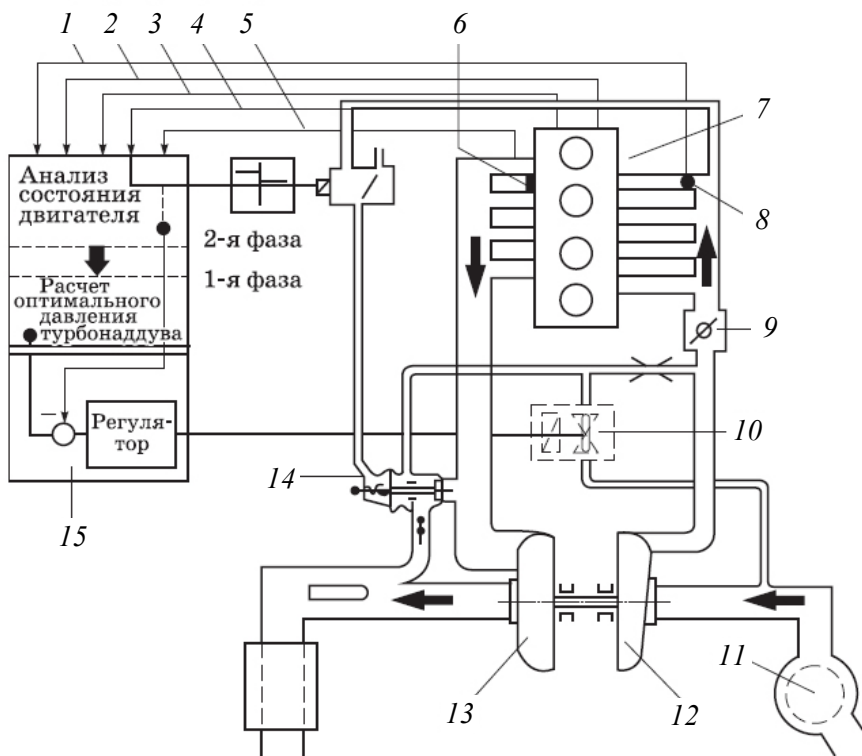


Рис. 28. Электронное управление турбонаддувом:

- 1 – информация о температуре всасываемого сжатого воздуха;
- 2 – информация о режиме работы двигателя;
- 3 – информация о температуре охлаждающей жидкости;
- 4 – информация о давлении во впускном трубопроводе;
- 5 – информация от датчика детонации;
- 6 – датчик детонации;
- 7 – двигатель;
- 8 – воздух, находящийся под давлением;
- 9 – заслонка моторного тормоза;
- 10 – электромагнитный клапан;
- 11 – воздушный фильтр;
- 12 – нагнетательное колесо;
- 13 – приводное колесо;
- 14 – сбрасывающий клапан;
- 15 – электронный блок управления

На втором этапе это значение давления передается на исполнительные устройства, которые регулируют давление во впускной системе. При определении этого давления учитываются также крити-

ческие условия работы двигателя, в частности детонация. Акустические датчики позволяют распознать самовоспламенение, насколько малым бы оно ни было. Давление наддува в этом случае понижается. Эта операция повторяется до тех пор, пока детонация не исчезнет. Когда детонация прекращается, давление наддува снова возрастает до первоначального значения. Электронный блок управления также определяет идеальное давление наддува в случае повторяющейся детонации, возникающей, например, из-за использования низкокачественного топлива.

Электромагнитный клапан получает электрический сигнал, который определяет время его открывания, и работает соответственно как регулятор давления наддува.

Таким образом, на мембрану воздействует не все давление наддува, а только его большая или меньшая часть, которая зависит от положения электромагнитного клапана.

При нажатой педали акселератора электронный блок управления подает команду на закрытие клапана и все отработавшие газы направляются в турбину, из-за чего давление наддува возрастает и двигатель развивает значительную мощность, что делает возможным резкое ускорение автомобиля. Как только желаемая скорость движения достигнута, сбрасывающий клапан открывается и давление наддува становится обычным.

Для дизельных двигателей находит применение нагнетатель с изменяемой геометрией турбины, позволяющий ограничивать поток отработавших газов через турбину при высокой частоте вращения коленчатого вала двигателя (рис. 29).

Подвижные направляющие лопатки 2 соплового аппарата изменяют поперечное сечение каналов, через которые отработавшие газы устремляются на крыльчатку турбины. Этим они согласовывают возникающее в турбине давление газа с требуемым давлением наддува. При низкой нагрузке на двигатель подвижные лопатки открывают небольшое поперечное сечение каналов так, что увеличивается противодавление отработавших газов. Поток газов развивает в турбине высокую скорость, обеспечивая высокую частоту вращения вала нагнетателя (рис. 29, б). При этом поток отработавших газов действует на более удаленную от оси вала область лопаток крыльчатки турбины.

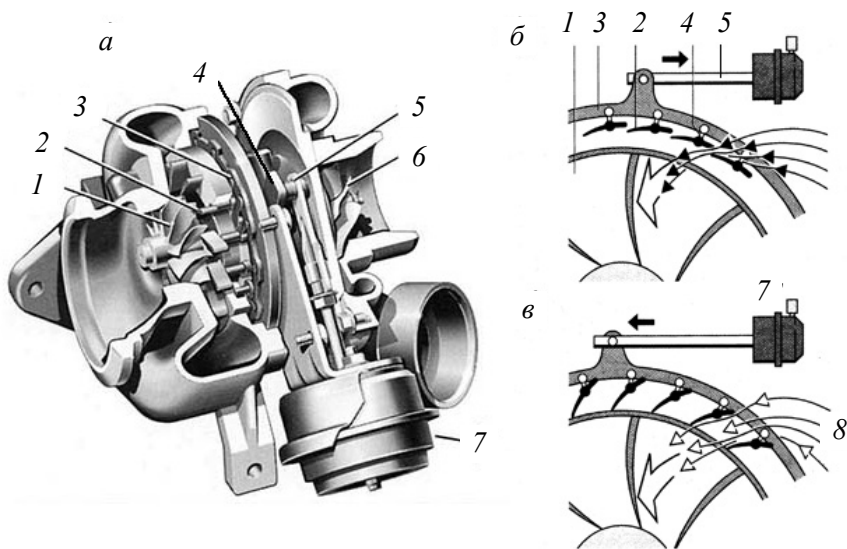


Рис. 29. Турбонагнетатель с изменяющейся геометрией турбины:
а – общий вид турбонагнетателя; *б* – положение направляющих лопаток при высокой скорости потока отработавших газов; *в* – положение направляющих лопаток при низкой скорости потока отработавших газов; 1 – крыльчатка приводного колеса турбины; 2 – подвижные направляющие лопатки соплового аппарата; 3 – управляющее кольцо; 4 – управляющий рычаг; 5 – шток управления; 6 – нагнетательное колесо турбины; 7 – управляющий пневматический цилиндр; 8 – поток отработавших газов

Таким образом, возникает большее плечо силы, которое дополнительно увеличивает крутящий момент. При высокой нагрузке направляющие лопатки открывают большее поперечное сечение каналов, что уменьшает скорость течения потока отработавших газов (рис. 29, *в*). Вследствие этого турбонагнетатель при равном количестве отработавших газов меньше ускоряется и работает с меньшей частотой при большем количестве газов. Этим способом ограничивается давление наддува. Поворотом управляющего кольца 3 изменяется угол направления лопаток, которые устанавливаются на желаемый угол либо непосредственно отдельным управляющим рычагом 4, укрепленным на лопатках, либо поворотными кулачками. Поворот кольца осуществляется при помощи управляющего пневматического цилиндра 7 под действием разрежения или

давления воздуха либо, как вариант, при помощи электродвигателя с обратной связью по положению лопаток (датчик положения). Нагнетатель с изменяемой геометрией в положении покоя открыт и поэтому безопасен, то есть при отказе управления ни он сам, ни двигатель не повреждаются. Происходит лишь потеря производительности на низких частотах вращения коленчатого вала.

Изменение площади сечения (расстояния между направляющими элементами) может управляться непосредственно давлением турбины с помощью привода, вакуумного регулятора или шагового электромотора.

Для изменения площади сопла обычно производится поворот лопаток.

Направляющие лопатки могут поворачиваться электрическим сервомотором (рис. 30). Электрическое управление позволяет турбонагнетателю быстрее запускаться и более точно регулировать процесс.

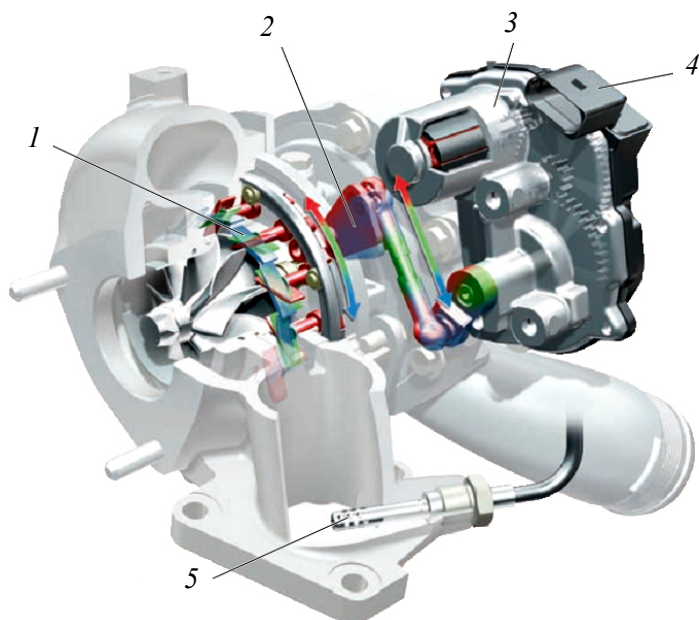


Рис. 30. Турбонагнетатель с электрическим сервомотором:

- 1 – направляющие лопатки; 2 – рычаг направляющих лопаток; 3 – сервомотор;
- 4 – блок управления турбонагнетателя; 5 – датчик температуры

Перед турбонагнетателем установлен датчик температуры отработанных газов. Блок управления двигателя использует сигнал датчика температуры отработанных газов, чтобы защитить турбонагнетатель от недопустимо высоких температур отработанных газов.

В двигателях легковых автомобилей может применяться и комбинированная (турбокомпаундная) система с двойным нагнетанием с помощью турбокомпрессора и механического компрессора (нагнетателя) (рис. 31).

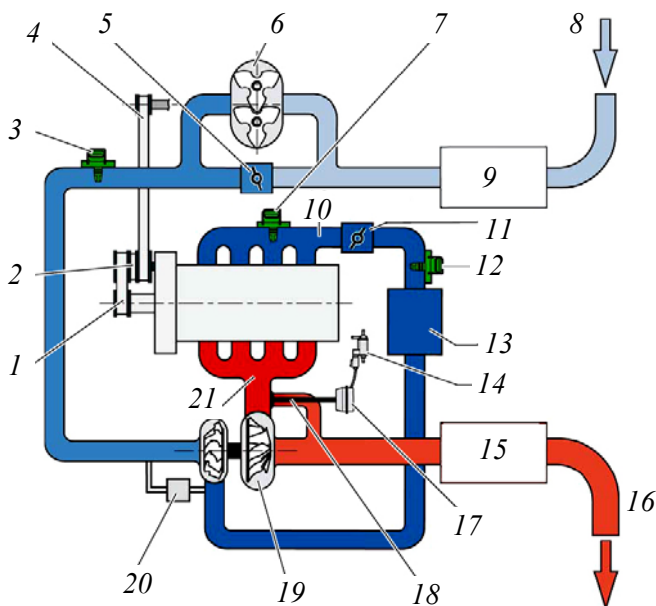


Рис. 31. Система наддува с двойным нагнетанием:

- 1 – ременный привод дополнительных агрегатов; 2 – магнитная муфта;
- 3 – датчик давления во впускном коллекторе (компрессор) с датчиком температуры всасываемого воздуха; 4 – ременный привод компрессора; 5 – регулирующая заслонка блока управления; 6 – роторный механический компрессор; 7 – датчик давления во впускном коллекторе (турбокомпрессор) с датчиком температуры всасываемого воздуха; 8 – подача воздуха; 9 – воздушный фильтр; 10 – впускной коллектор; 11 – дроссельная заслонка блока управления; 12 – датчик давления наддува с датчиком температуры всасываемого воздуха; 13 – интеркулер;
- 14 – магнитный клапан ограничения давления наддува; 15 – катализатор;
- 16 – отработавшие газы; 17 – диафрагменная камера; 18 – клапан управления перепуском отработавших газов; 19 – турбонагнетатель;
- 20 – клапан рециркуляции турбонагнетателя; 21 – выпускной тракт

Нагнетатель – это машина с вращающимся ротором, работающим без внутреннего сжатия по принципу вытеснения. Он состоит из корпуса, в котором вращаются два вала (ротора) (рис. 32). Оба ротора приводятся механически (например, от коленчатого вала). Роторы, имеющие противоположное направление вращения, синхронно соединяются друг с другом при помощи зубчатого редуктора, расположенного снаружи корпуса. Так производится синхронизация их вращения. При работе (вращении роторов) воздух между лопастями и наружной стенкой направляется со стороны впуска (сторона всасывания) в сторону выпуска (сторону нагнетания). Давление подаваемого воздуха создается за счет подпора. Прежние модели нагнетателей были оснащены двухлопастными роторами. Современные нагнетатели, как правило, имеют трехлопастные роторы со спиральными лопастями. Это помогает достичь более высокого и, что еще более важно, постоянного давления наддува [3].

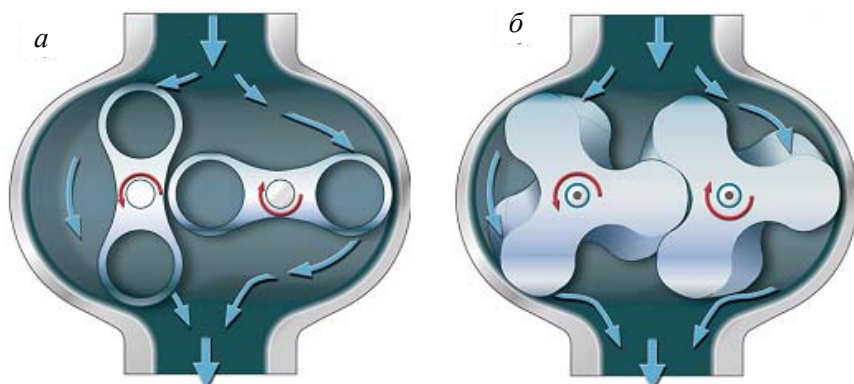


Рис. 32. Виды компрессоров (нагнетателей):
а – двухлопастной; *б* – трехлопастной

Общий вид нагнетателя показан на рис. 33. В корпусе привода нагнетателя установлен упругий элемент. В элементе расположена торсионная пружина, соединяющая приводную и ведомую втулки. Пружина передает момент с ременного шкива на зубчатый редуктор.

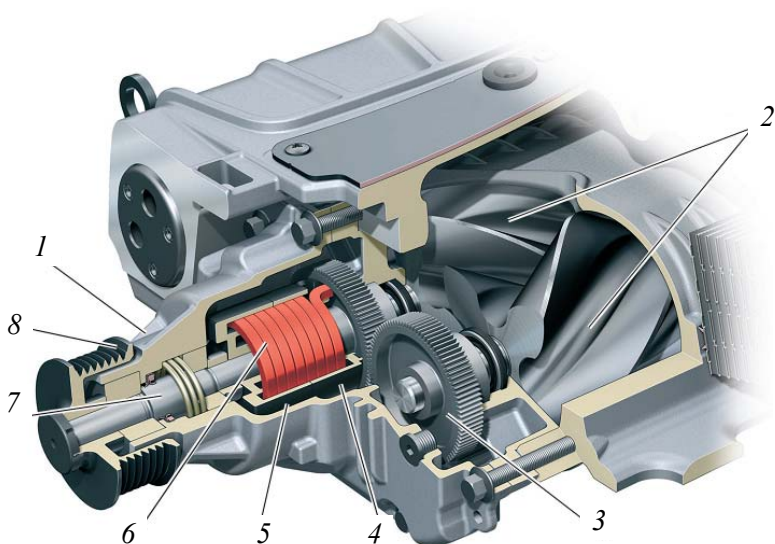


Рис. 33. Общий вид нагнетателя:

- 1 – корпус привода; 2 – роторы; 3 – синхронизирующая шестерня;
 4 – ведомая втулка; 5 – приводная втулка; 6 – торсионная пружина;
 7 – приводной вал с опорой; 8 – ременной шкив

Ротор приводится через пару зубчатых шестерен. Это позволяет вращаться обоим роторам абсолютно синхронно и в противоположном направлении. Большое количество зубьев шестерни предотвращает передачу колебаний. Зубчатые шестерни напрессованы на валы роторов. Приводная втулка заполнена специальным маслом. Четырехлопастные роторы скручены на 160° . Оба ротора вращаются на необслуживаемых подшипниках качения.

В зависимости от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала блок управления двигателя рассчитывает количество воздуха, необходимое для данного конкретного режима работы двигателя. При этом блок управления определяет необходимость включения только турбо-нагнетателя или дополнительно должен быть подключен компрессор.

При малых нагрузках в безнаддувном режиме регулирующая заслонка 5 (рис. 31) полностью открыта и поступающий свежий воздух поступает к турбо-нагнетателю. Учитывая небольшую частоту вращения коленчатого вала двигателя, турбины турбо-нагнетателя

вращаются медленно и давление наддува небольшое. Механический компрессор на этом режиме не включается. Дроссельная заслонка 11 открывается на небольшую величину, и во впускном коллекторе создается разрежение.

При достижении частоты вращения коленчатого вала 2400 об/мин регулирующая заслонка 5 (рис. 31) закрыта или слегка приоткрыта для регулировки давления наддува. В этом режиме механический компрессор 6 подключается через магнитную муфту и приводится в действие ременным приводом. Сжатый свежий воздух подается компрессором к турбонагнетателю 19. Здесь воздух сжимается дополнительно. Давление наддува компрессора замеряется датчиком давления 3 во впускном коллекторе и изменяется при необходимости блоком управления регулирующей заслонкой 5. Общее давление наддува замеряется датчиком давления наддува 12. Дроссельная заслонка 11 полностью открыта. Во впускном коллекторе создается давление до 2,5 кгс/см².

В диапазоне частоты вращения коленчатого вала от 2400 до 3500 об/мин при постоянной скорости движения давление наддува создается только турбонагнетателем. В случае быстрого ускорения частоты вращения коленчатого вала турбонагнетатель в обычных системах наддува без дополнительного компрессора срабатывает с большим опозданием и не может вовремя создать необходимое давление (турбояма). Во избежание этого в системе с двойным нагнетанием блок управления двигателя кратковременно подключает компрессор и изменяет положение регулирующей заслонки 5 в соответствии с требуемым давлением наддува, помогая турбонагнетателю в создании нужного давления наддува.

При частоте оборотов свыше 3500 об/мин турбонагнетатель может создавать необходимое давление наддува в любой точке нагрузки без помощи компрессора. Регулирующая заслонка 5 полностью открыта, и свежий воздух поступает непосредственно к турбонагнетателю. Энергии отработанных газов при такой частоте вращения коленчатого вала будет достаточно, чтобы с помощью турбонагнетателя обеспечить нужное давление наддува. Дроссельная заслонка полностью открыта. Во впускном коллекторе создается давление до 2,0 кгс/см². Давление наддува от турбонагнетателя замеряется с помощью датчика давления наддува 12 и регулируется клапаном ограничения давления наддува 14.

Система наддува с двойным нагнетанием применяется в двигателях Audi 3,0 л V6 TDI Biturbo, где используются два турбонагнетателя: один низкого, другой высокого давления.

Контрольные вопросы

1. Общее устройство системы питания дизельного двигателя с насос-форсунками.
2. Общее устройство и принцип действия насосов системы питания дизельного двигателя с насос-форсунками.
3. Общее устройство и принцип действия электрогидравлической насос-форсунки.
4. Общее устройство и принцип действия пьезогидравлической насос-форсунки.
5. Устройство и принцип действия механического турбокомпрессора.
6. Устройство и принцип действия турбонагнетателя с изменяющейся геометрией турбины.
7. Устройство и принцип действия система наддува с двойным нагнетанием.

3. СИСТЕМЫ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Цель работы: изучить виды, назначение, устройство и принцип действия систем снижения токсичности отработавших газов автомобильных двигателей, работающих на углеводородных топливах.

Оборудование: дизельный и бензиновый двигатели, оборудованные системами снижения токсичности; адсорбер; нейтрализатор автомобиля; блок AdBlue; клапан рециркуляции отработавших газов; набор инструментов

Общие положения

Для снижения токсичности отработавших газов применяются различные конструктивные решения. Кроме систем впрыска бензиновых двигателей во впускной трубопровод и цилиндры двигателя, систем зажигания с повышенной мощностью искрового разряда, систем впрыска дизельных двигателей при давлении до 2800 кгс/см^2 , в современных легковых автомобилях повсеместно применяется очистка отработавших газов после их выпуска из цилиндров (нейтрализация), рециркуляция отработавших газов, подача вторичного воздуха в цилиндры, вентиляция топливных баков, рекуперация энергии отработавших газов, использование гибридных автомобилей, электромобилей и др.

3.1. Нейтрализация отработавших газов

Каталитическая нейтрализация. Каталитическое действие нейтрализаторов основано на беспламенном поверхностном окислении токсичных веществ в присутствии катализатора, ускоряющего химическую реакцию. Процесс окисления происходит во время прохождения отработавших газов через слой носителя с нанесенным на него катализатором, причем скорость реакции сгорания зависит от температуры носителя. Применение каталитических нейтрализаторов позволяет дожигать продукты неполного сгорания СН и СО и разлагать оксиды азота [2].

В качестве активных компонентов каталитических нейтрализаторов для СН и СО применяют благородные металлы (до 1–2 г пал-

ладия, платины), а также оксиды переходных металлов (меди, кобальта, никеля, ванадия, хромата железа, марганца). Для нейтрализации могут применяться, кроме выше названных элементов, катализаторы на основе меди с добавкой ванадиевого ангидрида и оксида хрома, на основе оксида железа или алюминия, на основе металлических сплавов (нержавеющая сталь, бронза, латунь, легированные стали с хромоникелем).

Общая схема системы очистки отработавших газов бензинового двигателя показана на рис. 34 [2].

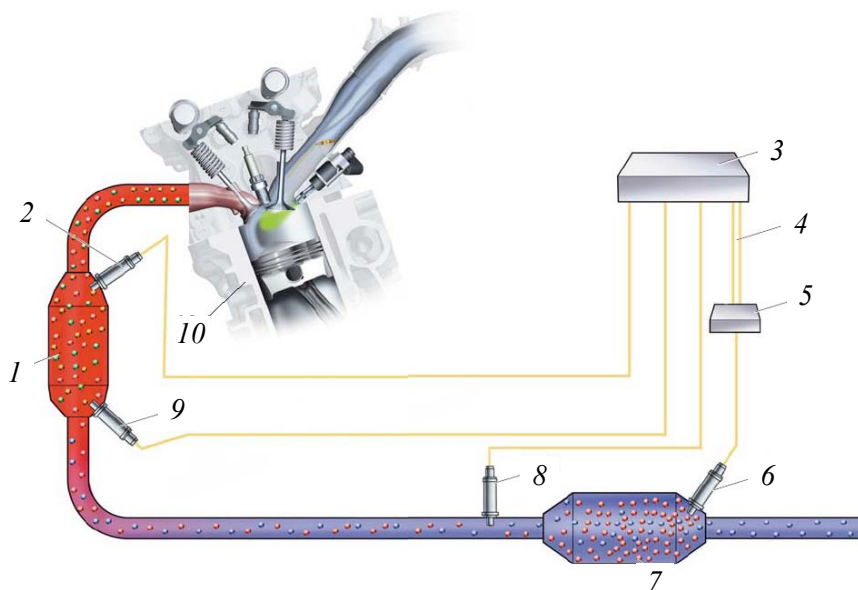


Рис. 34. Общая схема системы очистки отработавших газов бензинового двигателя с непосредственным впрыском:

- 1 – каталитический нейтрализатор; 2 – входной датчик кислорода;
- 3 – блок управления двигателем; 4 – кабель шины CAN;
- 5 – блок управления датчиком NO_x ; 6 – датчик оксидов азота NO_x ;
- 7 – накопительный нейтрализатор NO_x ; 8 – датчик температуры;
- 9 – выходной датчик кислорода; 10 – двигатель

Каталитический нейтрализатор с лямбда-зондом 1 (рис. 35) представляет собой металлический корпус 6 из жаропрочной нержавеющей стали толщиной около 1,5 мм, внутри которого находится керамический носитель 5. Наибольшее распространение получили гра-

нулированные и блочные (монолитные) носители, которые пронизаны многочисленными мелкими сотами, создающими максимальную поверхность контакта с отработавшими газами. Чтобы обеспечить необходимый массоперенос между отработавшими газами и каталитической поверхностью, площадь последней увеличивают путем нанесения на нее гамма-оксида алюминия с пористой структурой, в виде сферических гранул, которые укладываются в металлический цилиндр, закрытый по торцам сетками 2. Гранулы из оксида алюминия покрываются непосредственно каталитическим материалом. Поверх гранул алюминия нанесен тонкий слой катализаторов 4 – платины и родия. Задача этих редких металлов – ускорять окисление углеводородов и окиси углерода до углекислого газа, а токсичные оксиды азота восстанавливать до азота. Между блоком-носителем и корпусом ставится специальная терморасширяющаяся прокладка 3. Между блоком-носителем и корпусом ставится специальная терморасширяющаяся прокладка 3.

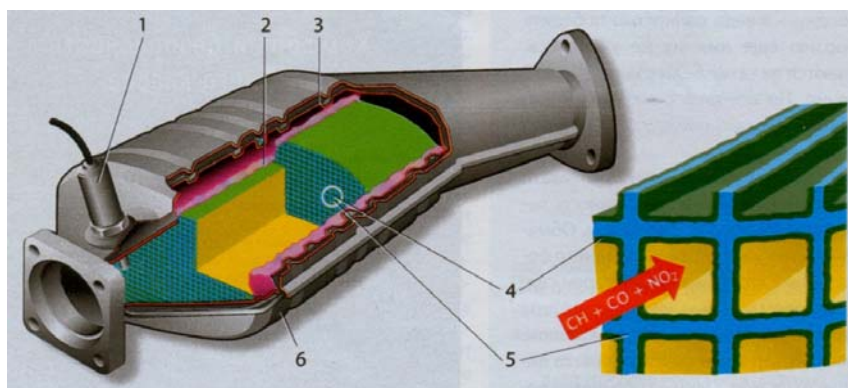


Рис. 35. Каталитический трехкомпонентный нейтрализатор отработавших газов

Альтернативой керамическому монолитному блоку является металлический каталитический нейтрализатор. Он изготавливается из гофрированной металлической фольги толщиной 0,05 мм, намотка и пайка которой твердым припоем осуществляются при высокой температуре. Поверхность фольги покрывается эффективно действующим катализатором. Благодаря тонким стенкам фольги в тех же габаритах, что и у керамического нейтрализатора, может быть размещено большее число каналов, что приводит к меньшему сопротивлению прохождения отработавших газов.

Нейтрализатор вступает в работу после разогрева до 300 °С. Оптимальный рабочий диапазон температур – от 400 до 800 °С. Чем ближе нейтрализатор к двигателю, тем быстрее он разогревается до рабочей температуры. Поэтому на смену нейтрализаторам под днищем кузова пришли нейтрализаторы, совмещенные с приемной трубой.

В целях уменьшения вибрационных нагрузок со стороны двигателя нейтрализатор присоединяется к выпускному трубопроводу или к приемной трубе через шарнирное соединение или компенсатор колебаний.

Для работы системы с каталитическим окислительным нейтрализатором при использовании в двигателе обогащенных смесей необходимо добавлять воздух к отработавшим газам. Для этого используются специальные воздушные насосы или специальные клапанные устройства (виброклапаны или пульсаторы), функционирующие под действием волн разрежения, возникающих в системе выпуска.

Наилучшую очистку отработавших газов дают двухсекционные каталитические нейтрализаторы, позволяющие после прохождения первой секции уменьшать содержание NO_x , а после ввода во вторую секцию дополнительного воздуха – содержание CO и CH .

В последнее время наибольшее распространение получили трехкомпонентные каталитические нейтрализаторы, оборудованные системой обратной связи, позволяющие одновременно при восстановлении NO_x окислять CO и CH .

Накопительный нейтрализатор. При работе двигателя на гомогенной стехиометрической смеси углеводороды и оксид углерода отнимают у оксидов азота кислород, окисляясь до воды и диоксида углерода, а оксиды азота восстанавливаются до азота. При работе двигателя на бедных смесях углеводороды и оксид углерода окисляются кислородом, содержащимся в избытке в отработавших газах, однако кислород при этом у оксидов азота не отнимается. Поэтому при работе на бедных смесях трехкомпонентный нейтрализатор не может восстанавливать оксиды азота. Последние проходят через трехкомпонентный нейтрализатор и направляются в нейтрализатор накопительного типа. По конструкции он не отличается от обычного трехкомпонентного нейтрализатора [3].

Помимо выполнения функций трехкомпонентного нейтрализатора, он способен накапливать оксиды азота. При работе двигателя на гомогенной стехиометрической смеси накопительный нейтрализатор работает как обычный трехкомпонентный нейтрализатор. При работе

двигателя на бедных послойной и гомогенной смесях этот нейтрализатор не может преобразовывать оксиды азота обычным способом, но способен их удерживать. Как только количество удержанных оксидов азота достигает предельного для данного нейтрализатора значения, двигатель переводится на режим регенерации.

Регенерация нейтрализатора производится, если концентрация оксидов азота в прошедших через него газах превысила определенное значение. Таким образом блок управления двигателем «узнает» о переполнении нейтрализатора и невозможности накопления в нем оксидов азота. В результате он переводит двигатель на режим регенерации. При этом производится переход с бедных смесей на обогащенные смеси, вызывающие повышенный выброс углеводородов и оксидов азота с отработавшими газами.

Удалить серу из нейтрализатора труднее, чем оксиды азота, так как она устойчива к высоким температурам. При регенерации нейтрализатора от оксидов азота сера не удаляется, а накапливается. Очистку нейтрализатора от серы нужно проводить, если снижается его способность к накоплению оксидов азота, что проявляется в сокращении периодичности его регенерации.

Блок управления двигателем по сокращению периодов регенерации нейтрализатора получает информацию о накоплении в нем серы, которая ограничивает способность к улавливанию оксидов азота. Очистка нейтрализатора от серы производится при движении автомобиля со скоростями, превышающими некоторое минимальное значение, которое зависит от модели автомобиля. Цикл регенерации длится около двух минут, начинаясь с следующих операций:

двигатель переводится на гомогенную смесь;

устанавливается позднее зажигание, в результате чего температура отработавших газов повышается до значений, превышающих 650 °С.

Работа двигателя с большой частотой вращения и большими нагрузками автоматически приводит к выжиганию серы, так как при этом двигатель работает на гомогенной смеси, а температура нейтрализатора повышается до необходимого для окисления серы уровня.

Основным недостатком каталитических нейтрализаторов является высокая стоимость. Кроме того, при установке их на автомобиле не допускается применения этилированных бензинов.

Сажевые фильтры. Снижение выброса сажевых частиц является сегодня одной из сложнейших задач в области очистки обрабо-

тавших газов дизелей. Помимо мероприятий, направленных на снижение выбросов CO, CH и NO_x и образования сажи при сгорании топлива непосредственно в двигателе, особое внимание уделяется фильтрации газов на выпуске из него. Один из эффективных способов очистки газов от сажевых частиц – задержание их посредством специальных фильтров: фильтры с «металлической шерстью», фильтры с керамическими фильтрующими элементами, спиральные фильтры с керамическим наполнителем и др.

Общая схема системы выпуска отработавших газов дизельного двигателя с сажевым фильтром показана на рис. 36 [2, 3].

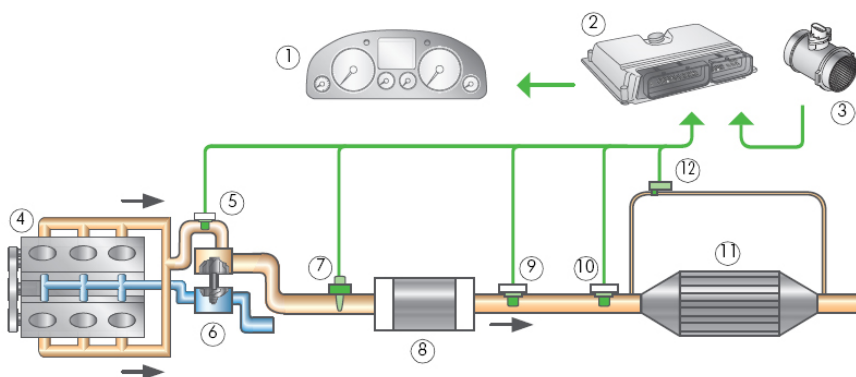


Рис. 36. Системы выпуска отработавших газов дизельного двигателя с сажевым фильтром:

- 1 – комбинация приборов; 2 – блок управления системы непосредственного впрыска дизельного двигателя; 3 – расходомер воздуха; 4 – дизельный двигатель;
- 5, 9, 10 – датчики температуры отработавших газов; 6 – турбоагнетатель;
- 7 – датчик кислорода; 8 – катализатор окисления; 11 – сажевый фильтр;
- 12 – датчик перепада давления

Катализатор окисления 8 преобразует большую часть углеводородов CH и CO в водяной пар и диоксид углерода (углекислый газ).

В качестве сажевых фильтров 11 наиболее распространены керамические фильтры. Сажевый фильтр состоит из сотобразных керамических модулей 1 из карбида кремния в металлическом корпусе 2 (рис. 37, а). Керамический модуль разделен на множество мелких каналов, закрытых попеременно с одной или другой стороны, которые

создают лабиринт. Тем самым образуются впускные *б* и выпускные каналы *4*, разделенные стенками фильтра *5* (рис. 37, *б*).

Стенки фильтра из карбида кремния имеют поры и покрыты слоем из оксида алюминия и окиси церия. На этот слой напылен драгоценный металл платина, который и служит катализатором. Покрытие из окиси церия в сажевом фильтре снижает температуру воспламенения сажи и ускоряет термическую реакцию с кислородом.

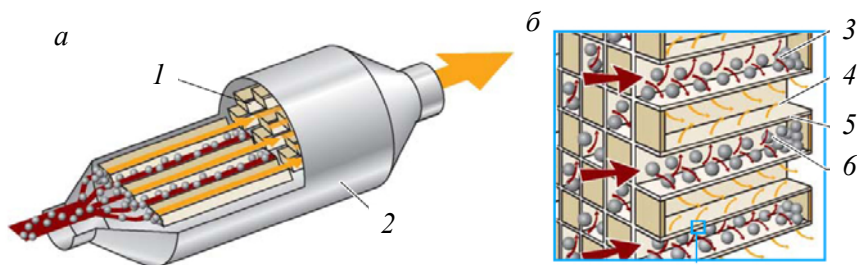


Рис. 37. Керамический сажевый фильтр (*а*) и принцип его действия (*б*):
1 – сотовые керамические модули; *2* – металлический корпус;
3 – частицы сажи; *4* – выпускной канал; *5* – фильтр; *б* – впускной канал

По сравнению с каталитическим нейтрализатором со свободным проходом отработавших газов в сажевом фильтре каналы установлены с чередованием открытых и закрытых концов. Так как каналы фильтра закрыты попеременно со стороны впуска и выпуска, газы, содержащие частицы сажи, вынуждены проходить через пористые стенки из карбида кремния. При этом частицы сажи задерживаются во впускных каналах, а газ свободно проходит через поры стенок каналов. В зависимости от пористости керамического тела эти фильтры могут задерживать от 70 до 90 % твердых частиц.

Для нормальной работы при длительных условиях эксплуатации сажевые фильтры должны подвергаться регенерации через определенные промежутки времени, при этом осуществляется дожигание сажевых частиц. Частицы сажи, участвуя в реакции с двуокисью азота, превращаются в углекислый газ.

Процесс регенерации сажевого фильтра с каталитическим покрытием разделяют на пассивную и активную регенерацию.

Пассивная регенерация осуществляется при высоких температурах рабочего процесса двигателя порядка 350–500 °С. Для осуществления пассивной регенерации в топливо добавляются специальные присадки, уменьшающие температуру воспламеняемости сажевых частиц отработавших газов.

При небольших нагрузках на двигатель температура отработавших газов слишком низка для пассивной регенерации. Сгорание сажевых частиц становится невозможным, поэтому происходит их скопление в фильтре. В таком случае применяется *активная регенерация*.

Активная регенерация осуществляется с помощью нагревательного элемента или системой управления двигателя, повышающих температуру отработавших газов приблизительно до 600–700 °С. В этом температурном диапазоне скопившаяся сажа окисляется в фильтре до углекислого газа. Процесс регенерации длится примерно 10–15 минут.

При регенерации с помощью системы управления двигателя в систему выпуска подается воздух, рециркуляция отработавших газов отключается, чтобы увеличить температуру сгорания и долю кислорода в камере сгорания. Дополнительно для увеличения температуры сгорания производятся дополнительные впрыски, причем основная фаза впрыска происходит с запаздыванием. Топливо, подаваемое в цилиндры двигателя, не сгорает, а испаряется в камере сгорания. Несгоревшее топливо горит в катализаторе окисления. Вырабатываемая при этом теплота обеспечивает повышение температуры отработавших газов перед сажевым фильтром до температуры сгорания сажевых частиц.

Для расчета дополнительно впрыскиваемого количества топлива блок управления двигателя использует сигналы датчиков температуры отработавших газов.

Необходимость регенерации определяется датчиком давления (рис. 38).

У датчика перепада давления предусмотрены два штуцера: один из них соединен с трубкой для измерения давления перед сажевым фильтром, а другой – после него. Внутри датчика находится мембрана с пьезоэлементами, на которую действует разность давлений [2, 3].

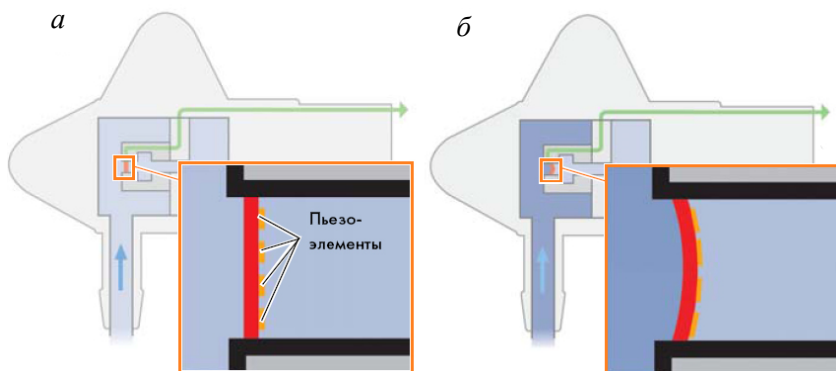


Рис. 38. Датчик перепада давления:
 а – фильтр не загрязнен; б – фильтр загрязнен

Если фильтр не загрязнен, давления перед ним и после него практически равны. При этом мембрана с пьезоэлементами находится в исходном положении (рис. 38, а). В случае загрязнения фильтра сажей сопротивление фильтра давление ОГ перед фильтром увеличивается. Давление ОГ после фильтра практически не изменяется. Мембрана прогибается в соответствии с действующей на нее разности давлений (рис. 38, б). Деформация мембраны влечет за собой изменение омического сопротивления включенных по мостовой схеме пьезоэлементов. Выходное напряжение моста усиливается и преобразуется в электронной схеме датчика, сигнал с которой поступает в блок управления двигателем. По величине этого сигнала блок управления определяет степень заполнения фильтра сажей и при необходимости вырабатывает команду на его регенерацию.

Селективное каталитическое восстановление. В процессе очистки ОГ по принципу SCR (Selective Catalytic Reduction, то есть селективное каталитическое восстановление) в ОГ добавляется восстановитель: например, раствор мочевины с концентрацией 32,5 % по массе [2, 3].

В данной технологии очистки ОГ целенаправленно снижается только содержание оксидов азота. Содержащиеся в ОГ оксиды азота (NO_x) в катализаторе восстановления превращаются в азот (N_2) и воду (H_2O). Для этого в поток отработавших газов перед катализатором непрерывно впрыскивается восстановитель (мочевина). Ам-

миак в чистом виде раздражает кожу и слизистые оболочки и, кроме того, имеет крайне неприятный запах, поэтому необходимый для восстановления оксидов азота аммиак применяется не в чистом виде, а в виде водного (32,5 %) раствора мочевины, которому автомобильная промышленность дала наименование *adblue*. Данная концентрация мочевины имеет наиболее точку замерзания равную – 11 °С. Для снижения температуры замерзания в раствор добавляют большее количество мочевины.

Принцип действия системы нейтрализации SCR (рис. 39) заключается в следующем. При нагреве примерно до 200 °С 22 достигает рабочей температуры. Блок управления двигателем 2 получает данные о температуре ОГ перед восстановительным катализатором от датчика температуры ОГ 28. При достижении рабочей температуры мочевины забирается включаемым в работу насосом мочевины 9 из бака мочевины 17 и под давлением 5 кгс/см² прокачивается через обогреваемый трубопровод 27 мочевины к форсунке мочевины 26. Форсунка мочевины управляется блоком управления двигателем 2 и впрыскивает мочевины в дозируемом количестве в трубопровод системы выпуска ОГ. Впрыснутая мочевины подхватывается потоком ОГ и равномерно распределяется микшером 25 в отработавших газах.

Процесс восстановления соотношение оксидов NO и NO₂ в отработавших газах начинается в окислительном (каталитическом) катализаторе 30, покрытие которого адаптировано под систему нейтрализации SCR.

На участке к восстановительному катализатору 23, так называемом гидролизном участке, мочевины распадается на аммиак (NH₃) и углекислый газ (CO₂). Гидролизный участок находится между форсункой мочевины и восстановительным катализатором. Там из восстановителя (водного раствора мочевины) образуется необходимый для восстановления оксидов азота аммиак (NH₃). Это происходит в результате реакции термоллиза и гидролиза впрыснутой мочевины. Когда мочевины впрыскивается в поток горячих ОГ, вначале испаряется вода. При термоллизе (химическая реакция, при которой в результате нагревания исходное вещество распадается на несколько веществ) восстановитель (водный раствор мочевины CO(NH₂)₂) распадается на аммиак NH₃ и изоциановую кислоту HNCO.

За этим следует реакция гидролиза (распад химического соединения в результате реакции с водой), при которой изоциановая кис-

лота реагирует с содержащейся в ОГ водой. При этом возникает еще одна молекула аммиака и углекислый газ.

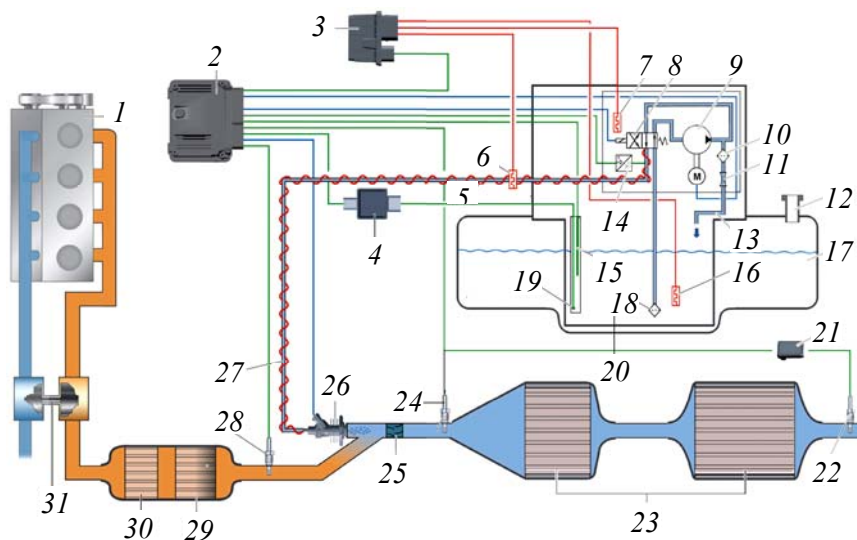


Рис. 39. Схема системы очистки ОГ дизельных двигателей по принципу SCR:
 1 – двигатель; 2 – блок управления двигателем; 3 – блок управления системой подогрева мочевины; 4 – модуль оценки уровня мочевины; 5 – спираль нагревательного элемента; 6 – нагревательный элемент трубопровода мочевины; 7 – нагревательный элемент насоса мочевины; 8 – клапан обратной перекачки мочевины; 9 – насос мочевины; 10 – фильтр; 11 – дроссель; 12 – патрубок заливной горловины; 13 – обратная магистраль; 14 – датчик давления системы дозирования мочевины; 15 – датчик уровня мочевины; 16 – нагревательный элемент бака мочевины; 17 – бак с раствором мочевины; 18 – фильтр; 19 – датчик температуры мочевины; 20 – стакан подогревателя; 21 – блок управления датчика 2 NO_x ; 22 – выходной датчик NO_x ; 23 – восстановительный катализатор; 24 – входной датчик NO_x ; 25 – миксер; 26 – форсунка мочевины; 27 – трубопровод мочевины; 28 – датчик температуры ОГ; 29 – сажевый фильтр; 30 – окислительный (каталитический) катализатор; 31 – турбонагнетатель

В восстановительном катализаторе 23 происходит восстановление оксидов азота.

Это означает, что в процессе восстановления оксид азота (NO_x) отдает молекулы кислорода или, другими словами, у оксида азота забираются молекулы кислорода, при этом оксиды азота ($\text{NO} +$

+ NO₂) вступают в реакцию с аммиаком (NH₃) с образованием азота (N₂) и воды (H₂O).

После процесса восстановления в отработавших газах содержится углекислый газ, вода, кислород, азот.

Мочевина всасывается насосом мочевины из так называемого стакана подогревателя через всасывающую трубу и фильтр 18. Подогрев мочевины в стакане подогревателя нагревательным элементом 16 обеспечивает работу системы SCR и при низких температурах окружающей среды. Возвращающаяся от насоса мочевины по наружной стороне всасывающей трубы стекает обратно в стакан подогревателя. Через переливные щели мочевины попадает из бака в стакан подогревателя. При низких температурах, благодаря выплескиванию мочевины из стакана подогревателя, замерзшая в баке мочевины оттаивает.

Насос 9 мочевины мембранный. Его привод осуществляется бесщеточным двигателем постоянного тока. Насос мочевины интегрирован в корпус модуля подачи мочевины и управляется блоком управления двигателем. Датчик давления системы дозирования 14 мочевины определяет фактическое давление подачи мочевины и передает сигнал напряжения блоку управления двигателем.

Клапан обратной перекачки 8 мочевины представляет собой четырехходовой двухпозиционный клапан. При отключении дизельного двигателя клапан обратной перекачки мочевины переключает направление подачи мочевины. Вследствие этого мочевины из трубопровода подачи мочевины возвращается в бак мочевины. Эта профилактическая мера позволяет предупредить замерзание мочевины в трубопроводе подачи мочевины и форсунке мочевины при низких температурах.

Датчик уровня мочевины 15 определяет уровень наполнения бака и предупреждения о необходимости дозаправки мочевины.

Из-за опасности замерзания мочевины при низких температурах бак с мочевиной, насос мочевины и трубопровод к форсунке оснащены нагревательными элементами, которые управляются блоком 3. По данным датчика наружной температуры и датчика температуры мочевины 19 блок управления 2 двигателем распознает необходимость подогрева мочевины. После этого он передает управляющий сигнал блоку системы подогрева 3 мочевины, который включает питание нагревательных элементов.

Нагревательные элементы 16 и 7 соответственно бака мочевины и насоса мочевины представляют собой нагревательные элементы с положительным температурным коэффициентом. Резисторы элементов в холодном состоянии обладают максимальной проводимостью. Нагревательный элемент 6 трубопровода мочевины представляет собой проволочное сопротивление из нержавеющей стали. Проволочное сопротивление навито на трубопровод подачи мочевины по спирали и защищено снаружи с помощью трубы из пластика. Подогрев трубопровода 27 подачи мочевины управляется блоком управления двигателем через блок управления системы подогрева мочевины. При низкой наружной температуре, если температура окружающей среды ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, блок управления системы подогрева мочевины включает ток нагрева для спирали 5 нагревательного элемента трубопровода мочевины.

Датчик температуры мочевины 19 представляет собой датчик с отрицательным температурным коэффициентом. Блок управления двигателем использует сигнал этого датчика для включения подогрева бака и насоса мочевины.

Форсунка (рис. 40, а) дозирует подачу мочевины в поток отработавших газов. Управление форсункой осуществляет блок управления двигателем с помощью сигнала с широтно-импульсной модуляцией.

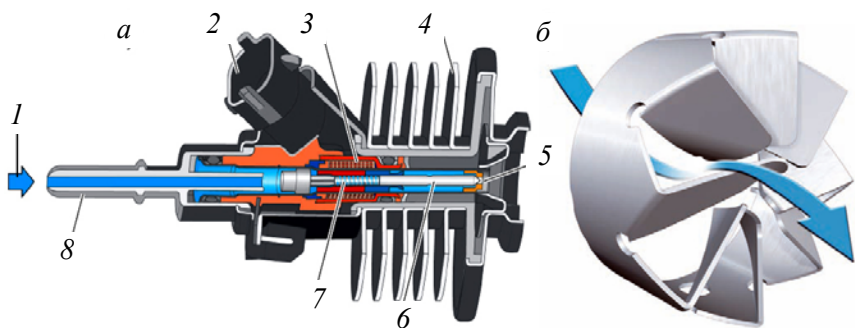


Рис. 40. Форсунка мочевины (а) и микшер (б):

- 1 – подача мочевины; 2 – электрический разъем; 3 – катушка электромагнита;
- 4 – ребра охлаждения; 5 – распылитель с тремя отверстиями; 6 – игла форсунки;
- 7 – пружина форсунки; 8 – штуцер подключения трубопровода мочевины

Мочевина в форсунке находится под давлением, создаваемым насосом мочевины. В положении покоя игла форсунки 6 перекрывает выходное отверстие за счет усилия пружины форсунки 7. Для впрыска мочевины блок управления двигателя посылает управляющий сигнал на катушку электромагнита 3. При этом возникает магнитное поле, которое вытягивает якорь форсунки и иглу форсунки, производя впрыск мочевины в поток отработавших газов. Если управляющий сигнал на электромагнитную катушку не подается, магнитное поле исчезает и игла форсунки перекрывает отверстия распылителя 5 под действием пружины форсунки.

Для более качественного распыления мочевины в системах очистки ОГ дизельных двигателей по принципу SCR может применяться микшер (рис. 40, б). Положение пластинчатого микшера выбрано так, что конус распыла впрыснутой мочевины по возможности полностью попадает на отражающую поверхность.

При соударении с отражающей поверхностью пластин микшера распыленные капли мочевины дробятся, а геометрическая форма микшера придает потоку ОГ вращательное движение. Впрыснутая мочевина в результате этого быстрее испаряется и переходит в газообразное состояние. Кроме того, исключается попадание крупных капель распыленной мочевины на восстановительный катализатор.

Для распыления мочевины может применяться смеситель, который устанавливается между окислительным и восстановительным нейтрализаторами (рис. 41). В такой системе мочевина впрыскивается в выпускной тракт через два отверстия в распылителе форсунки. При попадании на пластины смесителя отдельные капли взвешенной в газах мочевины измельчаются. Это способствует быстрому испарению мочевины, то есть полному переходу ее в газообразное состояние. При этом форма смесителя вызывает завихрения в проходящем через него потоке ОГ, дополнительно способствуя равномерному распределению мочевины.

Нейтрализаторы, работающие по принципу SCR, применяются как на легковых, так и грузовых автомобилях. Благодаря высокой степени снижения NO_x (до 90 % в европейском ездовом тестовом цикле для грузовых автомобилей) возможна регулировка двигателя, оптимальная по расходу топлива. Таким образом, с этой системой можно сэкономить до 10 % топлива.

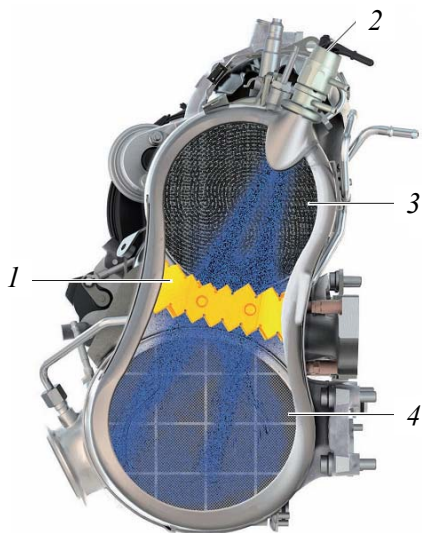


Рис. 41. Смеситель для распыления мочевины:
 1 – смеситель; 2 – форсунка; 3 – окислительный нейтрализатор;
 4 – восстановительный нейтрализатор

Мочевина хранится в отдельном баке (рис. 42). Бак восстановителя изготавливается из пластмассы и располагается обычно под днищем автомобиля.

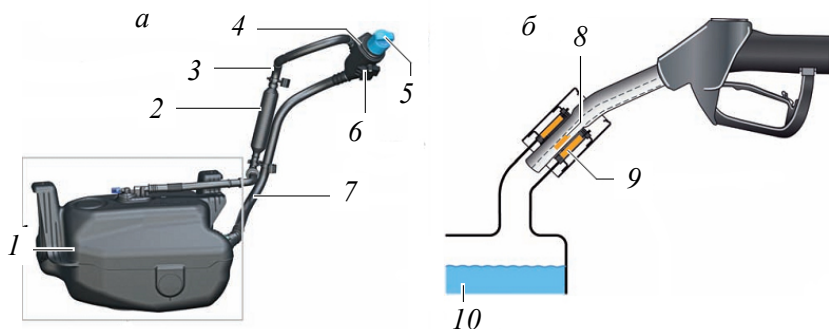


Рис. 42. Бак мочевины:
 а – компоненты бака; б – заправочный пистолет;
 1 – корпус бака; 2 – компенсационная полость; 3 – вентиляционный трубопровод;
 4 – заливная горловина; 5 – крышка; 6 – магнитное кольцо; 7 – заливной патрубков;
 8 – магнитный выключатель; 9 – магнитное кольцо; 10 – мочевины

Если при заправке с высокой скоростью мочевины начнет подниматься по вентиляционному трубопроводу, в этом трубопроводе предусмотрена компенсационная полость для восприятия и успокоения мочевины.

Бак мочевины можно заправлять с помощью пистолетов европейской сети заправочных станций AdBlue для грузовых автомобилей.

В концевой трубке заправочного пистолета AdBlue для грузовых автомобилей находится магнитный выключатель (рис. 42, б), который выполняет функцию предохранительного клапана, предотвращая неправильную заправку. Он открывается только при приложении снаружи определенного магнитного поля. Чтобы сделать возможной заправку восстановителя из колонок AdBlue для грузовых автомобилей, в заливной горловине бака восстановителя установлено соответствующее магнитное кольцо. При вставлении заправочного пистолета это магнитное кольцо открывает магнитный выключатель.

На автомобилях, оборудованных нейтрализаторами, следует соблюдать определенные меры безопасности их эксплуатации. Во время и после работы двигателя корпус нейтрализатора имеет весьма высокую температуру. В связи с этим, во избежание пожара, не следует парковать автомобиль над легко воспламеняющимися предметами, например сухими листьями, травой, бумагой и т. д.

При эксплуатации автомобиля следует соблюдать условия, при которых в нейтрализатор не должно попасть значительное количество несгоревшего топлива, что приводит к его вспышкам и дальнейшему разрушению нейтрализатора. К общим рекомендациям можно отнести следующие:

не следует длительное время пользоваться стартером;

в холодное время года, если двигатель не запустился с первой попытки, необходимо избегать повторных включений стартера через короткие промежутки времени;

нельзя запускать двигатель путем буксировки.

3.2. Рециркуляция отработавших газов

Рециркуляция отработавших газов заключается в перепуске их части во впускную систему двигателя и последующему возврату в камеры сгорания. Так как ОГ содержат после процесса сгорания очень мало кислорода, максимальные температура и давление при

сгорания топлива снижаются. В результате этого уменьшается выброс оксидов азота – NO_x [1, 2].

Эффект рециркуляции, снижающий уровень эмиссии NO_x , основывается на трех составляющих:

снижении концентрации кислорода в камере сгорания;

сокращении расхода ОГ;

снижении температуры в цилиндре благодаря более высокой теплоемкости инертных газов, которые не участвуют в реакции (например, CO_2).

Количество отработавших газов, участвовавших в рециркуляции, может достигать 20–50 % общего расхода, при этом содержание окислов азота снижается до 60 %. Увеличение выбросов углеводородов и роста расхода топлива при увеличении неравномерности работы двигателя накладывают ограничения на верхний предел степени рециркуляции отработавших газов. Система рециркуляции выключается при работе двигателя на холостом ходу, потому что образование окислов азота на этом режиме незначительно. На режимах полных нагрузок или близких к ним рециркуляция осуществляется непродолжительное время, а в режиме частичных нагрузок более длительное время и эффективность действия системы на этом режиме наивысшая.

Рециркуляция подразделяется на внутреннюю и внешнюю.

При *внутренней рециркуляции отработавших газов* регулирование количества остаточных газов в цилиндрах двигателя производится перестановкой по фазе впускных и выпускных валов. Это создает условия для поступления отработавших газов из выпускных во впускные каналы во время перекрытия фаз газораспределения (то есть в период одновременного открытия впускного и выпускного клапанов). При этом количество рециркулируемых газов зависит, главным образом, от продолжительности перекрытия фаз. Для этого впускные клапаны должны открываться задолго до ВМТ, а выпускные закрываться непосредственно перед ВМТ. В результате оба клапана остаются открытыми одновременно и отработавшие газы перетекают во впускные каналы. К преимуществам внутренней рециркуляции отработавших газов по сравнению с внешней рециркуляцией относятся ускоренная реакция системы и повышенная равномерность распределения рециркулируемых газов по цилиндрам.

Схема системы *внешней рециркуляции ОГ* представлена на рис. 43. Принцип работы системы основан на перепуске части ОГ во впускной трубопровод. После этого они, смешиваясь с воздухом или топливоздушной смесью, повторно участвуют в горении. Определенная часть ОГ, пройдя клапан рециркуляции 3, разбавляет свежую топливоздушную смесь или воздух. Управление клапаном рециркуляции осуществляется с помощью электронного блока управления 4 двигателя, как правило, общего с системой питания, АБС и т. д.

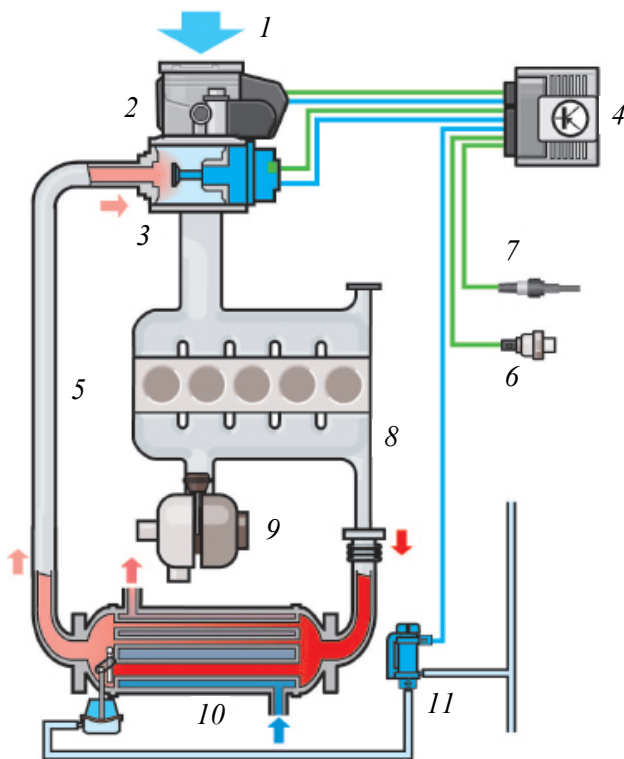


Рис. 43. Схема рециркуляции отработавших газов дизельного двигателя:
 1 – всасываемый воздух; 2 – заслонка впускного коллектора с датчиком положения заслонки и двигателем; 3 – клапан рециркуляции ОГ; 4 – блок управления двигателем; 5 – подводящая магистраль ОГ; 6 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 7 – лямбда-зонд; 8 – выпускной коллектор; 9 – турбонагнетатель; 10 – радиатор охлаждения ОГ; 11 – переключающий клапан радиатора рециркуляции

Количество рециркулируемых ОГ зависит от частоты вращения двигателя, количества впрыскиваемого топлива, объема всасываемого воздуха, температуры и давления всасываемого воздуха.

Блок управления двигателем определяет с помощью измерителя расхода поступающую в цилиндры массу воздуха и рассчитывает соответствующее ее величине давление во впускном трубопроводе. При рециркуляции ОГ их масса добавляется к массе свежего воздуха, что повышает давление во впускном трубопроводе. Датчик давления во впускном трубопроводе реагирует на это изменением напряжения на его выходе, которое передается на вход блока управления двигателем. По величине этого сигнала определяется суммарное количество воздуха и ОГ, поступающих в цилиндры двигателя. Количество перепускаемых ОГ определяется вычитанием количества свежего воздуха из суммарной величины.

В магистрали ОГ перед сажевым фильтром расположен широкополосный лямбда-зонд 7, сигнал которого используется в качестве корректирующей величины для регулировки количества рециркулируемых ОГ. Если доля кислорода в ОГ отличается от заданного параметра характеристики рециркуляции ОГ, то блок управления двигателем 4 посылает сигнал управления на клапан рециркуляции 3 и изменяет количество рециркулируемых ОГ.

В обесточенном состоянии клапан рециркуляции ОГ 1 (рис. 44) перекрывает подачу ОГ во впускной коллектор. Он включается, когда охлаждающая жидкость нагревается до 35 °С. При подаче сигнала управления клапан открывается на определенную величину, определяемую блоком управления.

Потенциометр системы рециркуляции ОГ 4 передает блоку управления двигателя информацию о проходном сечении клапана рециркуляции. Это необходимо для регулировки напряжения обмотки клапана в соответствии с параметрическим полем.

Для выравнивания давления в клапане во время фазы регулировки предусмотрено его непосредственное соединение с атмосферой через воздушный фильтр.

Радиатор 10 (рис. 43) системы рециркуляции ОГ охлаждает рециркулируемые ОГ. Благодаря этому происходит дополнительное снижение температуры сгорания и обеспечивается возможность рециркуляции большего количества ОГ.

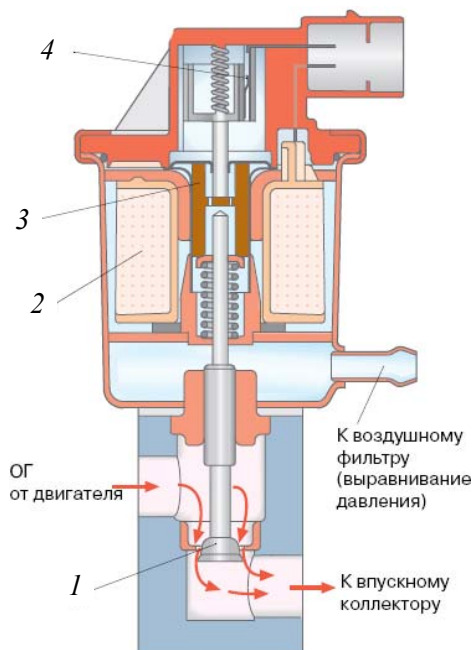


Рис. 44. Комплектация клапана рециркуляции:
 1 – клапан рециркуляции; 2 – обмотка; 3 – ярко; 4 – потенциометр

Однако независимое от теплового состояния двигателя охлаждение рециркулируемых газов приводит к повышенному выбросу углеводородов и оксида углерода. Поэтому в системе рециркуляции применяют переключающий клапан радиатора рециркуляции *11*, который в зависимости от температуры охлаждающей жидкости (обычно ниже 50 °С) направляет обработавшие газы к радиатору или в обход его.

3.3. Система вентиляции топливного бака

Наибольшее количество топливных испарений идет от топливного бака. На показатели топливных потерь из бензобаков существенно влияют конструктивные факторы, которые определяют температуру топлива в баке, свободную поверхность испарения, ограничение перемешивания топлива при движении автомобиля. Поэтому для снижения топливных потерь из бензобаков автомобилей

по возможности устраняется нагрев баков от выпускной системы автомобиля, а также от солнечных лучей. Хорошие результаты дают термоизоляция баков, уменьшение отношения площади поверхности испарения топлива к объему бака, устройство в баке перегородок, уменьшающих возможность перемешивания топлива.

Для улавливания топливных испарений из топливного бака разработаны специальные системы, которые не ухудшают мощностных, экономических и токсических характеристик автомобилей (рис. 45).

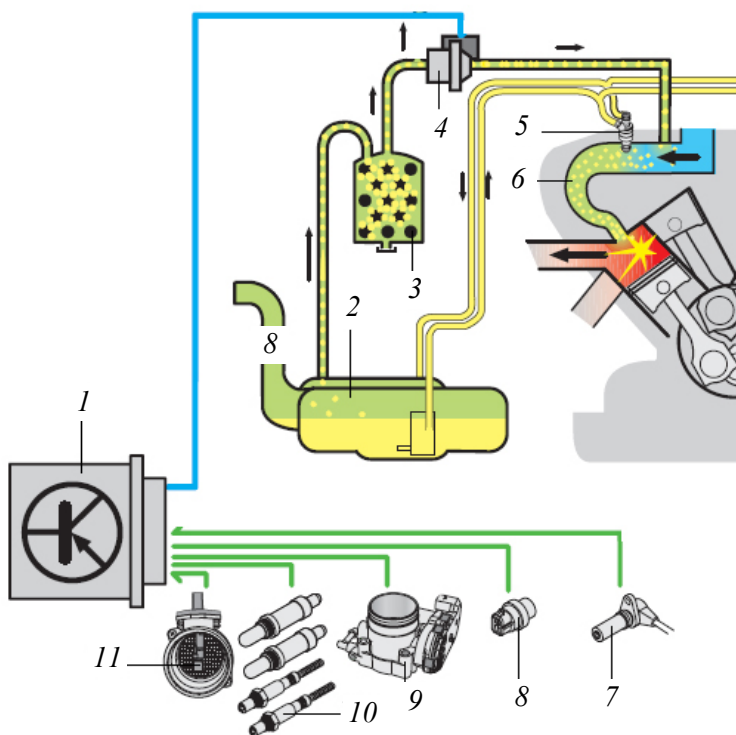


Рис. 45. Схема системы улавливания топливных испарений:

- 1 – блок управления двигателем; 2 – топливный бак;
- 3 – адсорбер с активированным углем; 4 – электромагнитный клапан продувки адсорбера; 5 – форсунка впрыска; 6 – впускной трубопровод; 7 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 8 – датчик температуры охлаждающей жидкости;
- 9 – блок управления дроссельной заслонкой; 10 – датчики кислорода;
- 11 – измеритель массового расхода воздуха с датчиком температуры воздуха на впуске в двигатель

Основными входными сигналами, поступающими на блок управления двигателем для регулирования системы вентиляции топливного бака, являются:

частота вращения коленчатого вала;

сигнал измерителя массового расхода воздуха, соответствующий нагрузке двигателя;

температура двигателя;

сигналы датчиков кислорода;

сигналы с блоков управления дроссельными заслонками.

Пары топлива удерживаются в адсорбере (рис. 46). Он представляет собой емкость с подсоединенными патрубками, заполняемую поверхностно-активным веществом – адсорбентом. Адсорбенты, помимо высокой поглощающей способности, должны отличаться стабильными характеристиками при изменении температуры окружающей среды, эффективной десорбцией (освобождением накопленных паров) и стабильностью при многократном повторении циклов адсорбции-десорбции, невосприимчивостью к атмосферной влаге, высокой механической прочностью во избежание их истирания в процессе эксплуатации автомобиля. Наиболее приемлемым адсорбентом является активированный уголь АГ-3, получаемый из каменного угля и полукокса.

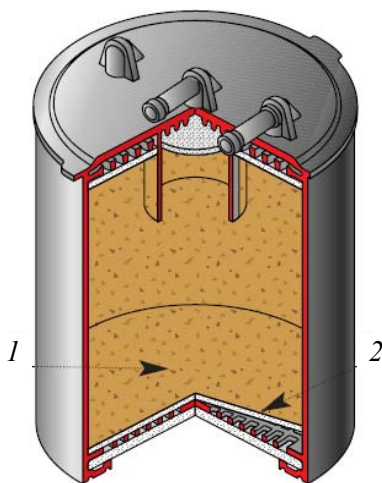


Рис. 46. Адсорбер:

1 – активированный уголь; 2 – воздухонепроницаемая перегородка

После обработки входных сигналов блок управления двигателем выдает команду на открытие электромагнитного клапана 4 (рис. 45). В результате накопленные в адсорбере пары топлива отводятся во впускной трубопровод 6 двигателя и затем сжигаются в его цилиндрах. При этом кратковременно изменяется соотношение топлива и воздуха в смеси. Это изменение смеси регистрируется датчиками кислорода 10, по сигналам которых система регулирования производит необходимую ее коррекцию.

На современных двигателях применяется принудительная система вентиляции картера закрытого типа. Система вентиляции картера у разных производителей и на разных двигателях может иметь различную конструкцию. Вместе с тем можно выделить следующие общие конструктивные элементы данной системы: маслоотделитель, клапан вентиляции картера и воздушные патрубки.

Схема системы вентиляции картера на примере системы дизельного двигателя TDI показана на рис. 47.

Маслоотделитель предотвращает попадание паров масла в камеру сгорания двигателя, тем самым уменьшает образование сажи. Различают лабиринтный и циклический способы отделения масла от газов. Современные двигатели оборудованы маслоотделителем комбинированного действия.

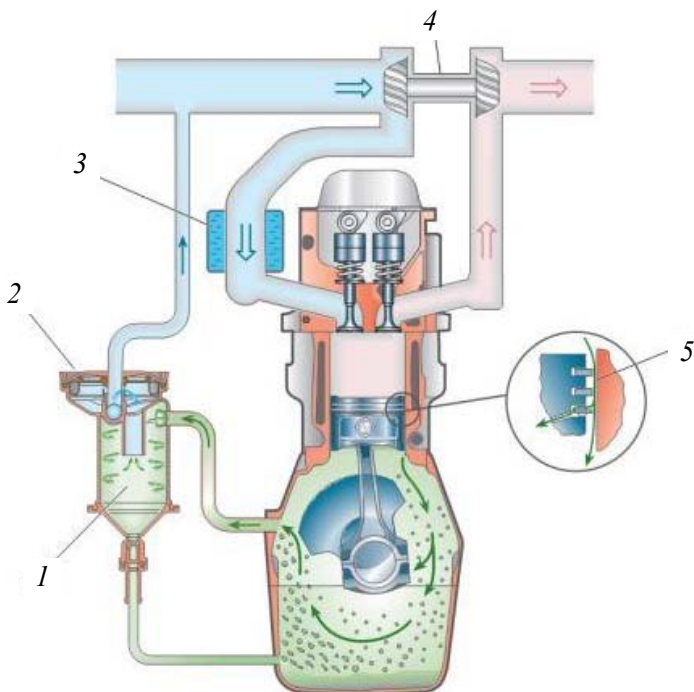


Рис. 47. Схема системы вентиляции картера:
 1 – центробежный маслоотделитель; 2 – клапан вентиляции картера;
 3 – охладитель нагнетаемого воздуха; 4 – турбонагнетатель; 5 – отработавшие газы

Контрольные вопросы

1. Назначение, устройство и работа каталитического нейтрализатора.
2. Назначение, устройство и работа системы выпуска с сажевым фильтром.
3. Назначение, устройство и работа системы рециркуляции отработавших газов.
4. Назначение, устройство и работа системы улавливания паров бензина.
5. Назначение, устройство и работа системы вентиляции картера двигателя.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савич, Е. Л. Инструментальный контроль автотранспортных средств : учеб. пособие / Е. Л. Савич, А. С. Кручек. – Минск : Новое Знание, 2008. – 309 с.

2. Савич, Е. Л. Легковые автомобили : учебник / Е. Л. Савич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Новое Знание, 2013. – 758 с.

3. Савич, Е. Л. Устройство и эксплуатация автомобилей для международных перевозок : учеб. пособие / Е. Л. Савич, В. П. Ложечник, А. С. Гурский; под ред. Е. Л. Савича. – Минск : РИПО, 2016. – 407 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ, ОБОРУДОВАННОГО СИСТЕМОЙ ПИТАНИЯ С НАСОС-ФОРСУНКАМИ	3
1.1. Устройство двигателя R5 TDI Volkswagen рабочим объемом 2,5 л	3
1.2. Особенности конструкции.....	3
<i>Контрольные вопросы</i>	12
2. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЕЙ С НАСОС-ФОРСУНКАМИ	13
2.1. Насос-форсунки.....	13
2.2. Компоненты системы подачи топлива	16
2.3. Подача дополнительного воздуха в цилиндры двигателя (турбонаддув)	33
<i>Контрольные вопросы</i>	45
3. СИСТЕМЫ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ.....	46
3.1. Нейтрализация отработавших газов	46
3.2. Рециркуляция отработавших газов	61
3.3. Система вентиляции топливного бака.....	65
<i>Контрольные вопросы</i>	69
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	70

Учебное издание

САВИЧ Евгений Леонидович
ИВАНИС Павел Владимирович

УСТРОЙСТВО ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Пособие

для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая
эксплуатация автомобилей» (по направлениям)
и 1-37 01 07 «Автосервис»

Редактор *Т. В. Мейкиане*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 29.11.2018. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 4,19. Уч.-изд. л. 3,27. Тираж 100. Заказ 315.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск